

SÉRIE A. N° 610

N° D'ORDRE

1345

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

A. QUIDOR

Études stéréoscopiques et contribution
à la physiologie des phénomènes visuels.

Soutenues le



juin 1909, devant la Commission d'examen.

MM. YVES DELAGE : *Président.*

G. BONNIER

E. HAUG

BOUTY

} *Examineurs.*

PARIS

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1909

SÉRIE A. N° 610

N° D'ORDRE

1345

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

A. QUIDOR

Études stéréoscopiques et contribution
à la physiologie des phénomènes visuels.

Soutenues le

juin 1909, devant la Commission d'examen.

M M. YVES DELAGE : *Président.*

G. BONNIER

E. HAUG

BOUTY

} *Examineurs.*



PARIS

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1909

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES

	MM.	
Doyen :	P. APPELL, prof ^r .	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire :	G. DARBOUX, —	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires :	L. TROOST.	
	CH. WOLF.	
	J. RIBAN.	
	LIPPMANN	Physique.
	BOUTY.	Physique.
	BOUSSINESQ	Physique mathém. et calcul des probabi- lités.
	PICARD	Analyse supérieure et algèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.	Astronomie mathém. et mécanique céleste.
	Y. DELAGE	Zoologie, anatomie, physiologie comparée.
	G. BONNIER	Botanique.
	DASTRE	Physiologie.
	KOENIGS	Mécanique physique et expérimentale.
	VÉLAIN	Géographie physique.
	GOUSAT	Calcul différentiel et calcul intégral.
	CHATIN	Histologie.
	PELLAT	Physique.
	HALLER.	Chimie organique.
Professeurs :	JOANNIS.	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.	Physique.
	WALLERANT.	Minéralogie.
	ANDOYER	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ	Mathématiques générales.
	HAUG.	Géologie.
	TANNERY	Calcul différentiel et calcul intégral.
	RAFFY	Application de l'analyse à la géométrie.
	HOUSSAY	Zoologie.
	H. LE CHATELIER.	Chimie.
	G. BERTRAND	Chimie biologique.
	Mme P. CURIE	Physique générale.
	CAULLERY	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.	Chimie.
	N	Zoologie, anatomie, physiologie comparée.
	PUISEUX	Mécanique et astronomie.
	LEDUC	Physique.
	HADAMARD.	Calcul différentiel et calcul intégral
Professeurs adjoints :	MATRUCHOT	Botanique.
	MICHEL	Minéralogie.
	BOUVEAULT	Chimie organique.
	BOREL	Théorie des fonctions.
	G. PRUVOT	Anatomie comparée.
Secrétaire :	A. GUILLET.	

A mon maître, M. le Professeur YVES DELAGE

MEMBRE DE L'INSTITUT

En souvenir du bienveillant intérêt qu'il m'a toujours témoigné.

Hommage respectueux et reconnaissant.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556013_0063

AVANT-PROPOS

Ce travail a été fait à la Sorbonne, au laboratoire de M. le Professeur Yves Delage. Je crois bien même que quelques expériences plus ou moins heureuses ont été faites ou tentées au laboratoire de Roscoff.

C'est que mes recherches sur les copépodes ayant appelé mon attention sur les difficultés que présente parfois une diagnose précise et sur les inconvénients d'une synonymie abusive, j'eus l'idée d'ajouter aux caractères génériques et spécifiques de chaque espèce, la représentation stéréoscopique de cette espèce. Des collections stéréoscopiques complètes formées par voie d'échanges et réunies dans les principaux centres d'étude permettraient une diagnose précise et rapide des espèces recueillies.

Je construisis dans ce but, avec M. Nachet, un microscope destiné à la stéréoscopie micro et macroscopique. Mais l'appareil construit, les expériences faites en amenèrent d'autres qui soulevèrent d'intéressantes questions théoriques. Il me fut alors impossible de reprendre mes études sur les copépodes avant d'avoir terminé ce travail.

Mon maître, M. le Professeur Yves Delage, a bien voulu soutenir mes efforts dans cette nouvelle direction. Les critiques bienveillantes et judicieuses de M. le Professeur Bouty, membre de l'Institut et celles de M. le Dr Tscherning, chef du laboratoire d'ophtalmologie à la Sorbonne, m'ont obligé à préciser mes premières expériences et leurs conséquences.

M. le Dr Hérouard, maître de conférences à la Sorbonne, M. Robert, chef des travaux pratiques à la Faculté des Sciences, MM. Hérubel, de Beauchamp et Vlès, préparateurs au Laboratoire de zoologie ont suivi mes recherches avec intérêt et les ont encouragées. Je ne saurais oublier, d'autre part, que la critique de mon ami Klein, préparateur à la Faculté des Sciences, m'a été fort précieuse.

Quant à la partie expérimentale, je dois à M. Nachet la construction du microscope stéréoscopique. Je lui dois aussi d'avoir expérimenté le premier microscope binoculaire à effet stéréoscopique et pseudoscopique construit en 1853 par Nachet père, le regretté et savant opticien.

MM. Baille-Lemaire ont bien voulu construire sur mes indications une jumelle qui permet une expérience des plus intéressantes au point de vue de la physiologie des phénomènes visuels.

Enfin ce travail doit à MM. les D^{rs} Morax et Sulzer l'honneur de paraître dans les *Annales d'oculistique*.

Qu'il me soit permis d'adresser à tous ceux qui ont contribué à cette étude et à sa publication un souvenir reconnaissant.

On me permettra d'associer à cet hommage un collaborateur modeste et dévoué, M. Joseph Jézéquel, qui est pour les travailleurs du laboratoire de zoologie à la Sorbonne ce qu'était le regretté Marty pour les travailleurs de Roscoff.

21 avril 1909.

Le stéréoscope de poche de Mendel, éditeur, rue d'Assas, permet l'examen des stéréogrammes publiés dans ce mémoire.

ÉTUDES STÉRÉOSCOPIQUES ET CONTRIBUTION A LA PHYSIOLOGIE

DES

PHÉNOMÈNES VISUELS

Ce travail comprend trois parties. La première donne un résumé aussi bref que possible de nos connaissances actuelles sur la stéréoscopie et sur la physiologie de la vision. La seconde rappelle les expériences de microphotographie stéréoscopique qui ont amené cette étude et traite de l'inclinaison du système optique dans la perception directe ou indirecte du relief. La troisième est consacrée à la physiologie des phénomènes visuels. Un résumé rapide des recherches faites et des résultats obtenus termine ce travail.

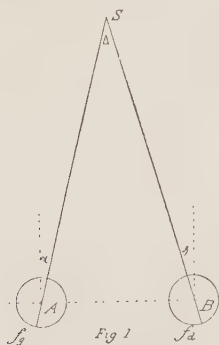
NOTIONS PRÉLIMINAIRES

La stéréoscopie a pour objet de donner à l'observateur éloigné dans le temps ou dans l'espace les sensations de relief et de distance qu'il éprouverait par la vision directe de l'espace ou de l'objet représenté.

Il convient d'y rattacher les instruments d'optique qui facilitent l'observation binoculaire et directe des objets ou de l'espace.

La perception du relief est due, dans l'un et l'autre cas, aux phénomènes de convergence, c'est-à-dire aux phénomènes qui, dans chaque œil, amènent l'image rétinienne du point observé en un point particulier de la rétine appelé fovea centralis.

Un point S de l'espace sera perçu par l'observateur dont les yeux sont en AB (fig. 1), quand les rayons centraux issus de



ce point passeront par le centre optique A ou B de chaque œil et par chaque fovea (fig. 1). Ces rayons passent alors par le centre de rotation de chacun des yeux et se confondent avec l'axe visuel de chacun d'eux. L'angle compris entre eux est dit angle de convergence du point S .

L'angle de convergence croît ou décroît selon que le point M se rapproche ou s'éloigne. La stéréoscopie proprement dite

se propose d'obtenir deux images de l'espace ou de l'objet représenté telles que l'observateur ne puisse en percevoir chacun des points qu'en répétant l'effort de convergence qu'exigerait la vision directe de ces points.

Les instruments destinés à l'observation binoculaire et directe des objets ou de l'espace font au contraire varier l'angle de convergence. Celui-ci est en général rendu plus grand. On admet d'ailleurs que si l'angle de convergence devient n fois plus grand ou plus petit, le relief devient lui-même n fois plus grand ou plus petit.

Si, dit-on, les angles de convergence de deux points A et B dont les valeurs respectives sont α et β dans l'observation directe, deviennent $n\alpha$ et $n\beta$ par l'emploi d'un instrument d'optique, l'observateur, pour passer du point B au point A ; est obligé de faire un effort identique à celui que nécessiterait l'observation directe de deux points dont la distance serait n fois plus grande que celle qui sépare les points A et B. Le relief serait donc bien rendu n fois plus grand.

Nous admettrons provisoirement ce principe.

PREMIÈRE PARTIE

La première partie traite de la stéréoscopie proprement dite, de l'étude des instruments d'optique destinés à l'observation binoculaire des objets ou de l'espace et de la physiologie des phénomènes visuels.

I. — STÉRÉOSCOPIE PROPREMENT DITE.

La stéréoscopie proprement dite comprend deux méthodes. La méthode des images conjuguées et la méthode intégrale.

A. — MÉTHODE DES IMAGES CONJUGUÉES.

Après avoir rappelé aussi brièvement que possible les principes théoriques de cette méthode, nous décrirons les deux procédés qui s'en inspirent. Les images conjuguées sont juxtaposées dans le premier et superposées dans le second.

a) **Exposé théorique de la méthode.**

Nous traiterons successivement des règles de la projection stéréoscopique et de la parallaxe.

I. — Règles de la Projection stéréoscopique.

L'exposé analytique de cette méthode se trouve dans l'optique physiologique de *Helmholtz* au chapitre intitulé « Règles de la projection stéréoscopique ». Nous reprendrons cette étude en la simplifiant (fig. 2 et 3).

Soit S un point de l'espace vu par un observateur dont les yeux sont en AB dans un plan horizontal H . Par définition AB est la base visuelle de l'observateur et le milieu M de cette base en est le centre visuel. Le plan vertical MM' perpendiculaire sur le milieu de AB est le plan médian. On appelle ta-

pectivement y et z pour le premier, x et z' pour le second, on a :

$$A'B' = \frac{2 ap}{p + b}$$

ou en posant $p + b = d$

$$A'B' = \frac{2 ap}{d}$$

Or, si le point S s'éloigne du tableau, $A'B'$ augmente et se rapproche de AB. Quand S est à l'infini, $A'B'$ devient égal à AB. La différence $AB - A'B'$ caractérise donc l'éloignement du point S, c'est, par définition, la parallaxe stéréoscopique de ce point.

Soit δ cette parallaxe, on a :

$$\begin{aligned} \delta &= 2a - \frac{2 ap}{d} \\ &= \frac{2 ab}{d} \quad (1). \end{aligned}$$

D'autre part $A'B'$ parallèle à AB est parallèle au plan H et on a $z = z'$.

Les triangles semblables (f. 3) donnent d'ailleurs

$$h = \frac{zd}{b} \quad (2).$$

et

$$e = \frac{OI' \times d}{b}$$

ou

$$e = \frac{(x + y) d}{2 b} \quad (3).$$

L'équation (1) peut être mise sous la forme

$$d = \frac{2 ab}{\delta} \quad (4).$$

Les équations (2) et (3) deviennent donc :

$$h = \frac{2 az}{\delta} \quad (5).$$

et

$$e = \frac{(x + y) a}{\delta} \quad (6).$$

II. — De la parallaxe stéréoscopique.

Nous étudierons les rapports qui existent entre la parallaxe stéréoscopique d'un point et l'angle de convergence de ce point. Nous déterminerons ensuite au moyen du « stéréo-comparateur » la parallaxe d'un point pour en déduire la distance.

1. — *Rapports entre la parallaxe stéréoscopique d'un point et l'angle de convergence de ce point.*

Nous avons vu précédemment que l'angle de convergence d'un point S pour un observateur dont les yeux sont en AB (fig. 1) est l'angle ASB formé par les axes visuels qui convergent en ce point.

Le plan ASB étant pris comme plan de figure et les axes visuels étant supposés primitivement parallèles au plan médian, la perception du point S exige que les axes visuels se déplacent d'un angle α pour l'œil gauche et d'un angle β pour l'œil droit.

Les valeurs de α et de β étant considérées comme positives quand le point observé se trouve à droite de A et à gauche de B, on a en désignant par Δ l'angle de convergence ASB :

$$\Delta = \alpha + \beta$$

La figure 2 montre d'ailleurs que l'angle de convergence est le même que le point S soit perçu directement ou indirectement par l'observation de ses conjugués A' et B'.

Mais si l'angle de convergence a une valeur déterminée pour un point déterminé de l'espace, la réciproque n'est pas vraie. Le lieu des points de l'espace ayant même angle de convergence est en effet une surface passant par les centres optiques des deux yeux et dont l'intersection avec le plan mené par un point de l'espace et les deux centres optiques est une circonférence passant par ces trois points.

Toutefois, cette indétermination disparaît lorsque, dans l'observation directe, le plan médian de l'observateur passe successivement par chacun des points de l'espace considéré. A tout angle de convergence correspond alors, dans un plan donné, un point déterminé.

Il convient d'examiner la relation qui existe entre la parallaxe stéréoscopique d'un point et l'angle de convergence de ce

point. Nous conviendrons d'appeler « parallaxe linéaire » d'un point de l'espace, la parallaxe stéréoscopique des images conjuguées de ce point et donnée par la formule : $\delta = \frac{2ab}{d}$ établie précédemment, et « parallaxe angulaire » l'angle de convergence Δ qui le détermine quand, dans l'observation directe, le plan médian et les axes visuels de l'observateur passent par ce point. Si l'on représente encore par $2a$ la base visuelle de l'observateur et par d la distance du point considéré, on a :

$$\lg \frac{\Delta}{2} = \frac{a}{d}$$

Les valeurs de Δ étant toujours suffisamment petites pour être proportionnelles à leurs tangentes, on peut admettre la formule :

$$\Delta = \frac{2a}{d}$$

Si donc on ne considère que les parallaxes linéaires et angulaires des points appartenant au plan médian, on voit que les unes et les autres sont directement proportionnelles aux valeurs de $2a$ et inversement proportionnelles à celles de d .

Il en résulte que rendre la parallaxe angulaire ou la parallaxe linéaire n fois plus grande ou plus petite, c'est rendre le relief n fois plus grand ou plus petit.

Nous reviendrons sur ce point.

2. — *Evaluation de la distance d'un point par la détermination exacte de sa parallaxe au moyen du stéréo-comparateur.*

Ce problème a été soulevé en 1892 par HARMER qui voulait examiner et comparer à un fort grossissement, les images conjuguées d'objets lointains obtenus par les procédés photographiques.

Un instrument d'une grande précision, le stéréo-comparateur, réalisa quelques années plus tard la conception de HARMER. Cet appareil comprend une plaque de verre dépoli qui reçoit l'image de l'espace observé au moyen de deux miroirs indépendants et un microscope binoculaire (voir p. 29) dont les objectifs très écartés, permettent de déterminer, avec une grande exactitude, la distance qui sépare les deux images d'un même point de l'espace.

De la formule $\delta = \frac{2ab}{d}$, on tire $d = \frac{2ab}{\delta}$

b) Procédé des images conjuguées juxtaposées.

Ce procédé comprend deux opérations distinctes : la formation des images conjuguées et leur observation. Après avoir décrit ces opérations nous discuterons les conditions dans lesquelles doivent être observées les images obtenues pour que les sensations de distance et de relief éprouvées par l'observateur soient identiques à celles qu'il éprouverait par la vision directe des objets ou de l'espace représenté.

Nous dirons enfin quelques mots des procédés d'observation qui permettent d'obtenir, à l'aide d'images uniques, des notions satisfaisantes du relief et de la distance des objets.

I. — Formation des images conjuguées.

Les images conjuguées s'obtiennent soit par le dessin, soit plus généralement par la photographie.

1. — Images obtenues par le dessin.

En 1861, O. N. ROOP décrivit un procédé permettant de tirer d'une vue unique d'un objet deux images conjuguées. Il rend cette vue transparente par immersion dans l'huile et éclairage par dessous. Il place sur le dessin un double cadre rectangulaire dont le cadre intérieur peut être légèrement déplacé vers la gauche ou vers la droite au moyen d'une vis et dont la face inférieure reçoit une feuille de papier sur laquelle on calque une première fois le dessin sans aucune modification. On prend un second calque en commençant par les premiers plans. On a soin, en passant aux plans suivants, de déplacer le cadre intérieur d'une quantité convenable, correspondant à la différence de profondeur, et de telle sorte que la distance des deux points conjugués d'un point de l'espace situé à l'infini soit égale à celle qui sépare les yeux de l'observateur. La distance des conjugués d'un point quelconque étant d'autant plus petite d'ailleurs que ce point est plus près de l'observateur.

2. — Images obtenues par la photographie.

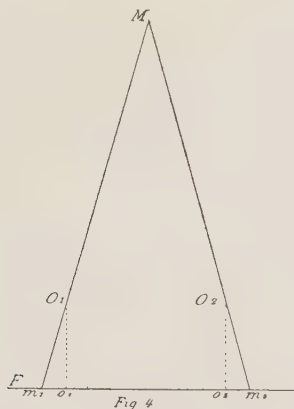
Les images conjuguées s'obtiennent le plus souvent par la photographie. Nous les désignerons sous le nom de stéréogra-

phies et les négatifs dont elles proviennent seront, par définition, des stéréogrammes. Après avoir exposé le principe sur lequel est basé ce procédé, nous en décrirons les principales applications en microstéréographie et en stéréographie ordinaire.

α) Principe.

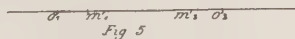
Nous examinerons donc tout d'abord ce qui se passe lorsque les objectifs photographiques ayant pris la place des yeux de l'observateur, la plaque sensible remplace le tableau.

Soit M un point de l'espace (fig. 4), O_1 et O_2 les centres



optiques des objectifs et F le plan de la plaque sensible. Les images de M se feront en m_1 et en m_2 et seront telles que la parallaxe de ce point sera négative et d'autant plus grande que le point M sera plus éloigné. Le relief est alors dit inversé ou pseudoscopique.

Mais en prenant successivement les positifs des clichés formés par chacun des objectifs et de telle sorte que les images positives m'_2 et m'_1 soient internes par rapport aux images o'_2 et o'_1 des centres optiques (fig. 5) la parallaxe de M de-



vient positive et d'autant plus grande que la distance de ce point est plus petite. Tout se passe comme si tous les points de l'image formée par chacun des objectifs avaient subi une rotation de 180 degrés autour des axes verticaux menés par o'_1 et o'_2 .

Supposons pour mieux fixer les idées que nous ayons en Ogn et Odn (fig. 6 a) les deux images négatives de l'espace représenté.

Le positif s'obtiendra en prenant sur la partie gauche d'une

a	Ogn	Odn
b	Odp	Ogp
c	Ogp	Odp

Fig. 6

plaque, gélatine contre gélatine, le cliché provenant de l'objectif droit et sur la partie droite le cliché provenant de l'objectif gauche (fig. 6 b).

Le positif ainsi obtenu présente à l'observateur sa face gélatinée (fig. 6 c) de telle sorte que le cliché pris par l'objectif droit se trouve devant l'œil droit et le cliché pris par l'objectif gauche devant l'œil gauche.

Tout se passe en somme comme si les images conjuguées avaient été déterminées par l'intersection des rayons visuels passant par chacun des points observés avec le plan d'un tableau situé entre ces points et l'observateur, à une distance égale à la distance focale des objectifs employés.

β) Microstéréographie.

Le principe en a été donné par WHEATSTONE qui recommandait que les axes optiques du microscope employé fissent entre eux un angle de 15 degrés. La même proposition se trouve d'ailleurs dans un brevet pris antérieurement à la communication de WHEATSTONE par un opticien français DUBOSQ.

La loupe binoculaire de GREENOUGH rappelle ce dispositif. Elle est alors réduite à ses objectifs et reçoit deux petites chambres noires qui donnent des stéréographies avec des grossissements variant de 2 à 11 diamètres. Le champ linéaire maximum de l'instrument varie de 3 à 30 millimètres.

Mais l'emploi des appareils à deux objectifs ne permet pas les forts grossissements. Aussi, dès le début, a-t-on

on songé à utiliser le microscope ordinaire. Pour WHEATSTONE il suffit de prendre successivement deux microphotographies de l'objet placé sur un plan qui reçoit deux inclinaisons symétriques par rapport au plan horizontal. Ce procédé est utilisé par BABO en 1861 ; il est appliqué en 1865 dans la balance stéréoscopique de MOITESSIER, et en 1907 par M. GUYESSE dans un instrument analogue mais plus précis.

SCHEFFER en 1897, obtient le même résultat au moyen d'une chambre noire munie d'un objectif de microscope. L'axe optique de l'objectif est mobile autour de l'objet que l'on photographie ainsi sous deux inclinaisons successives.

M. VLÈS m'a indiqué dernièrement une élégante solution théorique du problème de la microphotographie stéréoscopique. L'objet et le microscope seraient fixes mais l'objectif occuperait successivement deux positions symétriques par rapport à la verticale avec laquelle son axe optique ferait un angle constant. Un prisme à double réfraction totale amènerait l'image sur la plaque sensible disposée horizontalement au-dessus du corps du microscope.

Le procédé de LEITZ consiste simplement à déplacer l'objet au moyen de la platine mobile de telle sorte que son image se fasse successivement sur deux demi-plaques sensibles.

Enfin, s'inspirant du microscope binoculaire NACHET, MOITESSIER obtint vers 1866 de jolis stéréogrammes en laissant fixes l'objet et l'objectif. Un diaphragme lui permettait simplement d'intercepter successivement chaque moitié du faisceau lumineux émané de l'objet.

Quel que soit le procédé employé, aucune règle précise n'est formulée. Les microphotographies obtenues ont plus ou moins de relief et aucune ne répond rigoureusement aux règles de la projection stéréoscopique.

γ) Stéréographie.

Les appareils employés ont un ou deux objectifs. Ces derniers seuls suivent rigoureusement les règles de la projection stéréoscopique.

1. — Appareils à un objectif.

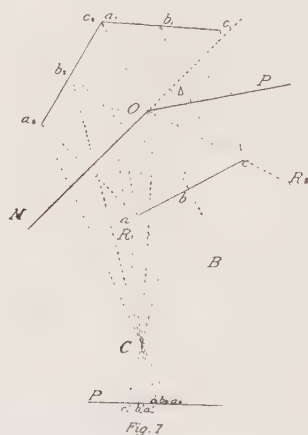
Les stéréogrammes se font simultanément (Méthodes de BARNARD, de BROWN) ou successivement. C'est WHEATSTONE

qui, le premier, utilisa la photographie dans la confection des stéréogrammes. Il trouva en COLLEN, TALBOT, BEARD, CLAUDET et FIZEAU des collaborateurs précieux.

Dans tous ces essais, comme dans ceux de MOSER, l'axe optique de l'appareil est dirigé successivement vers un même point de l'espace. L'angle formé par les deux positions successives de l'axe optique est de 21 degrés.

CLARK imagina une chambre à déplacement automatique tel que l'axe passait toujours par le même point de l'espace. La plaque sensible se déplace dans la même direction et l'inversion des clichés se fait pendant l'opération. L'écartement des positions extrêmes successives du centre optique était égal à la distance qui séparait les yeux de l'observateur.

Dans la chambre noire de CHEVALIER les positions successives de l'axe optique font entre elles un angle de 15 degrés quelle que soit la distance des objets.



Méthode de Barnard (fig. 7).

La méthode de BARNARD permet d'obtenir simultanément les deux images conjuguées à l'aide d'un seul objectif et de deux miroirs inclinés (fig. 7).

Soit l'inclinaison des miroirs, MO et OP , OB la bissectrice de MOP . Considérons une droite abc perpendiculaire en b à la bissectrice OB et telle que les angles aob et boc soient tous deux égaux à l'angle Δ .

La droite abc fera son image en $a_1 b_1 c_1$ dans le miroir OP

et en $a_2b_2c_2$. dans le miroir OM. Un objectif placé en C permettra d'obtenir en $a'_2b'_2c'_2$ et en $a'_1b'_1c'_1$ les images conjuguées et juxtaposées de la droite abc .

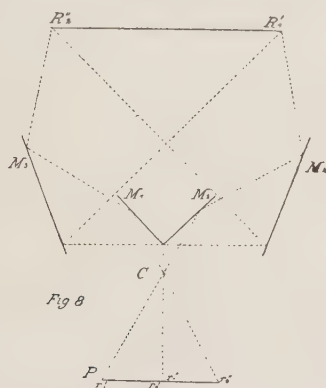
Mais cette méthode présente un inconvénient grave : que l'on déplace en effet la droite abc parallèlement à elle-même, les images conjuguées empièteront l'une sur l'autre.

Aussi n'eût-elle pas la faveur du public et son auteur lui-même ne put obtenir des résultats satisfaisants.

Méthode de Bown (fig. 8).

La méthode BARNARD est perfectionnée par BROWN au moyen de son « Photo-stéréo-duplicon ».

Cet appareil rappelle le téléstéréoscope à miroir. Il comprend en effet deux miroirs M_1 et M_2 qui font entre eux un angle de 90 degrés et reçoivent les images de l'espace à photo-



graphier au moyen des miroirs mobiles M_3 et M_4 . Ces derniers sont réglés de telle sorte que les rayons lumineux sont recueillis par l'objectif C et reçus en P par la plaque sensible.

Essais de Photographie stéréoscopique avec les rayons Rontgen.

Les premiers essais sont dus à MACH qui employa deux tubes de HITTORF, VALENTA obtient les stéréogrammes successivement par un simple déplacement de l'éclairage et CZERMAK par déplacement de l'objet.

2. — Appareils à deux objectifs.

Le premier de ces appareils a été imaginé par CLAUDET. Les chambres sont distinctes, mobiles autour d'un axe vertical et

leurs axes optiques, dirigés vers un point de l'objet photographié. QUINET remplace les objectifs par deux demi-lentilles.

Enfin apparaissent les chambres doubles à axes optiques parallèles. La proposition en est faite par DESPRATS et peut-être bien aussi par DAMERSON. DESPRATS recommande en outre les objectifs à distance focale très courte.

Nous avons vu précédemment que les images obtenues par cette méthode suivaient rigoureusement les règles de la projection stéréoscopique (voir p. 11 et suivantes).

II. — Observation pratique des images conjuguées.

Cette observation peut se faire directement, c'est-à-dire sans le secours d'aucun appareil ou indirectement à l'aide d'instruments appelés stéréoscopes.

1. — *Observation directe des images conjuguées.*

Certains observateurs peuvent obtenir directement la fusion d'images conjuguées. En réalité, comme l'a fait observer M. le professeur Chauveau, chacune d'elles est dissociée et les deux images médianes sont seules fusionnées.

On obtient ainsi une image médiane où le relief est très net et deux images latérales où le relief, bien qu'atténué, existe cependant.

2. — *Observation des images conjuguées au moyen du stéréoscope.*

Les stéréoscopes sont fort nombreux. Ils peuvent être classés en stéréoscopes dépourvus de système optique, stéréoscopes à miroirs, stéréoscopes à prismes et stéréoscopes à lentilles.

Nous nous bornerons à décrire brièvement un type de chaque catégorie.

a) *Stéréoscope dépourvu du système optique.*

Wheatstone place devant ses yeux deux tubes qu'il dirige sur les stéréographies dont l'écartement est inférieur à celui des yeux de l'observateur.

Un appareil semblable et du même auteur permet à l'œil droit de regarder l'épreuve placée devant l'œil gauche et à l'œil gauche l'épreuve placée devant l'œil droit. C'est l'observation croisée. L'objet paraît en relief, en avant du plan des images, à

l'intervention des axes visuels. L'inversion des épreuves nécessaire dans le premier cas ne l'est pas dans le second.

β) Stéréoscope à miroir (fig. 9).

C'est un appareil de laboratoire très précis mais aussi très volumineux. Il est dû à WEATSTONE. Les images sont placées

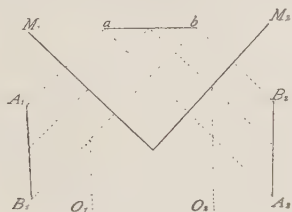


Fig. 9

de part et d'autre de l'observateur et réfléchies par deux miroirs M_1 et M_2 faisant avec le plan médian un angle de 45 degrés. L'observateur dont les yeux sont en O_1 et O_2 fusionne en ab les images placées en $A_1 B_1$ et en $A_2 B_2$.

On peut modifier soit la distance des images au miroir, soit l'angle que font entre eux les miroirs M_1 et M_2 . Nous reviendrons sur ce point.

γ. — Stéréoscope à prismes.

Cet instrument est dû à BREWSTER.

C'est le plus répandu. Il est simple, pratique, mais peu précis. Le système optique comprend deux prismes à surfaces convexes tirés de lentilles épaisses de 18 centimètres de distance focale et dont la base repose sur les parties latérales de l'instrument.

Les stéréographies sont placées dans une rainure derrière laquelle se trouve un verre dépoli. Une planchette verticale permet à chaque œil de ne voir que l'image qui lui est destinée.

δ. — Stéréoscope à lentilles.

Le stéréoscope à lentilles de HELMHOLTZ est un instrument très précis. Les stéréographies sont tirées sur verre et observées à l'aide d'un système optique double dont chaque partie est formée de deux lentilles ayant respectivement 18 et 12 centimètres de distance focale. Chacun de ces systèmes est porté par une planchette mobile dans le sens horizontal à l'aide d'un

vis h pour l'un d'eux et dans le sens vertical au moyen d'une vis v pour l'autre.

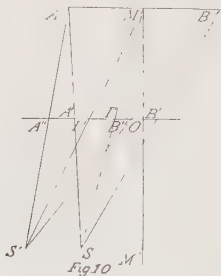
On détermine tout d'abord la distance focale du système optique en mettant au point, sur le verre dépoli, les images des objets placés à l'infini. Puis, fixant un des points les plus voisins et les plus saillants, on fait converger les yeux pour obtenir de ce point une image double. Si ces images ne sont pas situées à la même hauteur, on agit sur la vis h . Cette correction étant faite, on agit sur la vis v de telle sorte que les objets dont on observe les images conjuguées paraissent sensiblement à la même distance que des objets identiques observés directement. On verra d'ailleurs que la distance focale du système optique doit être la même que celle de l'objectif photographique employé.

III. — Conditions d'examen des images conjuguées.

Il convient maintenant de préciser dans quelles conditions doivent être vues au stéréoscope les images conjuguées pour que l'observateur ait une idée aussi exacte que possible de l'objet ou de l'espace représenté.

Les images conjuguées d'un objet étant formées par un ensemble de points conjugués, il suffit de considérer les deux images conjuguées d'un point de l'espace et de déterminer successivement l'influence que peut exercer sur la représentation de ce point soit le simple déplacement de ces images conjuguées dans leur plan, soit les variations de la distance qui les sépare ou bien l'une de l'autre ou bien de l'observateur.

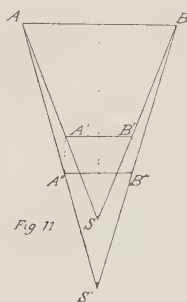
1. — Déplacement des images conjuguées dans leur plan (fig. 10).



Soient A' et B' les images conjuguées d'un point de l'espace et S le point résultant pour l'observateur dont les yeux sont

en AB. Les images conjuguées étant amenées en A''B'', le point résultant S se déplace dans le plan ABA'B', parallèlement à AB et vient en S'. La parallaxe linéaire est restée la même, mais la parallaxe angulaire est devenue plus petite ou plus grande selon que le point résultant s'éloigne ou s'approche du plan médian. Le relief est affaibli dans le premier cas et augmenté dans le second.

2. — *Variation de la distance qui sépare l'observateur du plan de l'image (fig. 11).*



Les images conjuguées A'B' étant amenées en A''B'', le point résultant S vient en S'. La parallaxe linéaire reste fixe tandis que la parallaxe angulaire croît ou décroît selon que la distance de l'observateur au plan de l'image devient plus petite ou plus grande. Le relief est donc modifié.

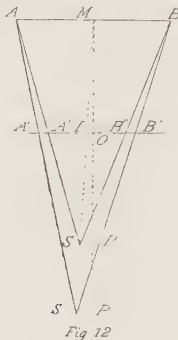
Il serait pour HELMHOLTZ « d'autant plus marqué qu'on augmente davantage la distance de l'épreuve » (*Optique physiologique*, 1867, p. 846). Nous reviendrons sur ce point (V. p. 91).

3. — *Variation de la distance qui sépare les deux images conjuguées d'un même point (fig. 12).*

Les images conjuguées A' B' étant amenées en A'' et B'' le point S se déplace dans le plan A B A' B' et vient en S'.

La parallaxe linéaire et la parallaxe angulaire varient dans le même sens. Elles augmentent ou diminuent selon que les images conjuguées sont rapprochées ou éloignées l'une de l'autre. Dans le premier cas, le relief est exagéré ; il est réduit dans le second. Mais il convient de noter que les images conjuguées étant rapprochées l'une de l'autre, la parallaxe linéaire

de tous les points se trouve augmentée et, en particulier, celle des points situés à l'infini. Ces points paraissent donc appartenir à un plan P situé à une distance finie de l'observateur. Si



on désigne par P' le plan dans lequel se trouvent les points les plus rapprochés de l'observateur, on voit que celui-ci ne perçoit en somme que les variations de distance comprise entre les plans P et P' . On dit qu'il perçoit le relief perspectif.

CONCLUSION.

Les sensations de distance et de relief produites par l'examen des images conjuguées seront les mêmes que celles fournies par l'observation directe quand la parallaxe angulaire de chacun des points de l'espace observé sera la même dans les deux cas. La discussion précédente montre qu'il en sera ainsi toutes les fois que la parallaxe linéaire, telle qu'elle résulte de la position des deux conjugués d'un point quelconque de l'espace dans le plan du tableau, n'aura pas été modifiée et que la distance de chacun de ces conjugués au plan médian de l'observateur n'aura pas varié. Il faut en outre que la distance du plan des images à l'observateur soit égale à celle qui, dans l'observation directe, séparerait celui-ci du plan du tableau ou encore égale à la distance focale de l'objectif photographique utilisé dans la formation des images observées.

IV. — Relief donné par des images uniques.

Les images uniques observées dans des conditions que nous allons déterminer peuvent donner des notions satisfai-

santes de relief et de distance. Deux procédés sont en présence : le procédé de M. le Professeur CHAUEAU et le procédé de BREWSTER et de DOVE.

1. — *Procédé de M. le Professeur Chauveau.*

M. le Professeur CHAUEAU a appelé l'attention sur les propriétés « stéréogéniques » des images rétiniennes dissociées par cessation de la convergence des deux axes visuels sur la surface d'une épreuve photographique simple.

L'interposition d'une loupe entre l'œil et l'épreuve, l'examen de celle-ci par un seul œil ou par les deux yeux et, dans ce cas, au moyen de primes convenablement disposés, soit tout simplement par divergence volontaire des axes visuels, tels sont les procédés qui permettent d'éprouver, au moyen d'une épreuve unique, des sensations très nettes de profondeur et de relief.

Tous ces procédés, dit M. CHAUEAU, se ramènent « à la dissociation des deux images rétiniennes complétées par l'obscurcissement de l'une de ces images pour que l'autre, l'image dominatrice, se manifeste dans toute sa netteté, avec l'aspect naturel des objets et des lieux représentés ».

Cette propriété stéréogénique des images rétiniennes fournies par une simple épreuve photographique est la conséquence nécessaire de « la réversion et de l'extériorisation » de ces images, projetées en état de dissociation en dehors de l'œil. En d'autres termes cette sensation de relief est un phénomène d'ordre subjectif par lequel l'observateur dont les axes visuels ne convergent plus sur l'épreuve photographique observée, attribue l'image rétinienne dominatrice qu'il perçoit à un objet réel et redressé par rapport à cette image.

Nous reviendrons sur ce point à propos d'observations personnelles du même ordre.

2. — *Procédé de Brewster et de Dove.*

BREWSTER puis DOVE ont montré qu'on pouvait obtenir au moyen d'un prisme et d'un dessin unique le relief de tout objet symétrique par rapport à un plan.

Le plan de symétrie d'un tel objet étant confondu avec le plan médian de l'observateur, l'image reçue par l'œil droit est symétrique de celle que reçoit l'œil gauche. Considérons une

vue de cet objet prise par rapport à l'un des yeux, l'œil droit par exemple. Elle est vue par l'œil gauche au moyen d'un prisme rectangle isocèle (fig. 13) dont la plus grande face et paral-

$a\ m\ b$



$b' m' a'$
Fig 13

lèle au plan médian tandis qu'elle est vue directement par l'œil droit. L'observateur perçoit ainsi nettement le relief de l'objet représenté. L'œil gauche reçoit en effet, grâce au prisme, une image symétrique de celle que reçoit l'œil droit : les sensations sont donc identiques à celles que fournirait l'examen direct de l'objet.

Considérons un objet symétrique par rapport au plan horizontal et au plan vertical.

L'examen simultané de l'image unique d'un tel objet au moyen d'une lunette astronomique et d'une lunette de Galilée, placées respectivement devant l'œil droit et devant l'œil gauche, donne également la sensation de relief. Ici encore, en effet, les deux images rétinienne sont symétriques l'une de l'autre et identiques par conséquent à celles que fournirait l'observation directe.

c) Procédés des images conjuguées superposées.

Ces procédés sont au nombre de deux. Dans l'un, les images sont continues : Procédé de ROLLMANN et d'ALMEIDA ; elles sont discontinues dans l'autre.

1. — Procédés de Rollmann et d'Almeida.

Les deux images conjuguées obtenues par la méthode ordinaire sont imprimées l'une en rouge l'autre en bleu et superposées de telle sorte que les conjugués des points les plus éloignés coïncident. Supposons pour fixer les idées que l'image bleue soit destinée à l'œil gauche et l'image rouge à

l'œil droit. En observant l'image mixte, dite anaglyphe au moyen d'un binocle dont l'un des verres est rouge et l'autre bleu et placé de telle sorte que le premier soit devant l'œil gauche et le second devant l'œil droit, chacun des yeux ne perçoit que l'image qui lui est destinée. Le verre rouge laisse passer en effet les rayons rouges destinés à l'œil droit et ne retient que les rayons bleus de l'image destinée à l'œil gauche. Le verre bleu agit d'une façon analogue et ne retient que les rayons rouges de l'image destinée à l'œil droit.

Chacun des yeux de l'observateur reçoit donc l'image qui lui est destinée. Le relief est nettement perçu.

Le procédé d'ALMEIDA est basé sur le même principe. Les deux images conjuguées sont projetées et superposées à l'aide de deux lentilles devant lesquelles on place respectivement un verre rouge et un verre vert. Supposons que l'image rouge doive être perçue par l'œil droit et l'image verte par l'œil gauche. L'observateur percevra le relief en plaçant un verre rouge devant l'œil gauche et un verre vert devant l'œil droit. La sensation de relief s'explique comme précédemment.

2. — *Procédé des réseaux.*

Le principe de cette méthode a été donné dès 1896 par M. BERTHIER. Elle a pour but d'obtenir soit, d'après les objets eux-mêmes soit d'après leurs images conjuguées, un cliché ou une projection unique donnant directement à l'observateur c'est-à-dire sans stéréoscope ou sans verres colorés, des sensations de relief identiques à celles que donnent les méthodes de Rollmann et d'Almeida.

En 1904, M. GAUMONT rapporta de l'exposition de St-Louis des stéréogrammes obtenus avec ce procédé par M. IVES.

M. ESTANAVE s'est efforcé non sans succès de rendre cette méthode pratique.

La méthode des réseaux a d'ailleurs reçu une application intéressante en radioscopie et en radiographie grâce aux travaux de M. GUILLOZ. M. ESTANAVE s'est occupé également de cette question.

α) Formation de l'image stéréoscopique.

Deux objectifs O_1 O_2 (fig. 14) dont l'écartement est égal à celui des yeux de l'observateur, projettent simultanément et en

les superposant sur une même plaque sensible, ou sur un même écran, les images conjuguées de l'objet placées respectivement en I_1 et en I_2 .

Mais en avant de la plaque ou de l'écran se trouve un réseau R formé de lignes verticales alternativement transparentes et opaques (fig. 14).

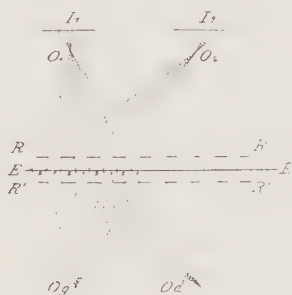


Fig. 14

L'image donnée par l'objectif O_1 occupe les espaces 1, 1, 1... 1 et celle donnée par l'objectif O_2 les espaces 2, 2, 2... 2. La distance de la plaque à l'écran est telle que les images 1, 1, 1... 1, 2, 2, 2... 2, n'empiètent pas les unes sur les autres. L'image stéréoscopique, ainsi projetée est positive si les images conjuguées I_1 et I_2 sont négatives.

M. ESTANAVE a d'ailleurs obtenu directement, c'est-à-dire d'après l'objet lui-même, un négatif stéréoscopique en plaçant derrière les objets O_1 et O_2 des prismes qui amenaient la superposition des images fournis par l'un et l'autre objectif. Le réseau R se trouve encore placé en avant de l'écran ou de la plaque sensible.

β) Observation de l'image.

L'observateur dont les yeux sont en $O_g O_d$ (fig. 14) examine le positif obtenu EE' en avant duquel se trouve du côté de l'observateur, un réseau R' identique au réseau R et semblablement placé. L'œil gauche perçoit l'image donnée par l'objectif gauche et l'œil droit l'image donnée par l'objectif droit. Les lignes opaques des réseaux RR' sont tracées à raison de 5 par millimètre ; elles sont deux fois plus larges que les lignes transparentes. L'expérience montre que, dans ces conditions, les images rétinienne 1.1.1... 1 et 2.2.2... 2 sont suffisamment

rapprochées pour que chaque ensemble donne à l'observateur l'impression d'une image continue. Chacun des yeux reçoit donc l'image qui lui est destinée et l'observateur a une sensation nette du relief.

Un léger déplacement latéral donne le relief pseudoscopique : l'œil gauche reçoit alors l'image destinée à l'œil droit et vice versa.

γ) *Projection stéréoscopique* (fig. 14).

M. ESTANAVE s'est proposé de résoudre par la méthode des réseaux le problème de la projection stéréoscopique. Les premiers essais sont encourageants et son écran stéréoscope permet à plusieurs personnes l'examen simultané d'une même vue stéréoscopique.

L'écran stéréoscope se compose essentiellement d'une plaque de verre dépoli en avant et en arrière de laquelle sont disposés deux réseaux identiques R et R' dont les parties transparentes et opaques se correspondent.

On projette sur le verre dépoli les images conjuguées I_1 , I_2 au moyen de deux lanternes de projection dont les objectifs ont un écartement égal à celui des pupilles. Chacun des yeux recevant encore l'image qui lui est destinée l'observateur éprouve des sensations très nettes de relief.

δ) *Ecran stéréoradiographique.*

Enfin M. ESTANAVE a appliqué après M. GUILLOZ la méthode des écrans à l'examen stéréoradiographique. Il substitue à la glace dépolie de l'appareil précédent un écran fluorescent au platino-cyanure dont l'une des faces A porte le réseau R et l'autre B un réseau métallique ; la disposition des traits opaques est identique dans les deux réseaux.

L'écran présente sa face A à l'observateur.

Chacun des yeux perçoit ainsi celle des ombres de l'objet qui lui est destinée et données l'une et l'autre par deux ampoules dont l'écartement est encore égal à celui des yeux.

B. — MÉTHODE DES PHOTOGRAPHIES INTÉGRALES.

M. le professeur LIPPMANN expose sous ce titre le principe d'une méthode photographique ayant pour effet de fournir des

épreuves donnant à l'observateur l'impression d'une fenêtre ouverte sur l'espace représenté. Si cette conception théorique se réalisait, le problème de la stéréoscopie serait résolu et avec lui celui de la projection stéréoscopique.

Une pellicule transparente de celluloïd ou de collodion a été gaufrée à chaud de telle façon que sa face antérieure présente des saillies sphériques auxquelles correspondent des saillies de sa face inférieure ayant même centre de courbure (fig. 15).



Fig. 15

La couche sensible repose sur les saillies inférieures. Si on désigne par r_s le rayon des premières, par r_i celui des secondes et par n l'indice de réfraction du celluloïd pour les rayons les plus actiniques, on doit avoir :

$$\frac{r_s}{r_i} = n - 1$$

M. LIPPMANN donne le nom de *cellule* à l'ensemble formé par une saillie antérieure et une saillie postérieure. Un pigment noir isole les cellules. Chacune de celles-ci est semblable à l'œil simple d'un insecte et leur ensemble forme un tout qui en rappelle l'œil composé. Les lentilles antérieures peuvent être assimilées à la cornée et la couche sensible à la rétine. La présence du cristallin n'est pas nécessaire car chaque cellule, qu'on peut regarder comme une chambre noire minuscule, est au point pour tous les objets suffisamment éloignés.

Le film total ainsi formé est placé dans une boîte étanche à la lumière puis exposée en pleine lumière, développé et fixé. On obtient ainsi de l'espace représenté, une multitude de petites images microscopiques. Celles-ci sont observées par la face antérieure tandis que la postérieure reçoit la lumière d'une lampe diffusée par une feuille de papier blanc. L'image totale se projette dans l'espace en vraie grandeur et suivant ses trois dimensions.

On sait en effet que si on remplace dans l'appareil photographique le négatif qu'il a donné et qu'on éclaire celui-ci par sa

face postérieure, les rayons lumineux qui émergent de l'objectif iront concourir en des points virtuels dont l'ensemble est identique en grandeur et en direction et suivant les trois dimensions au système de points photographiés.'

Mais le film obtenu précédemment donnerait ainsi une image négative, Il conviendrait donc d'en tirer un positif. On pourrait à cet effet placer en avant du négatif un film identique et de telle sorte que les faces cornéennes des deux films fussent en regard.

II. — INSTRUMENTS D'OPTIQUE DESTINÉS A L'OBSERVATION BINOCULAIRE ET DIRECTE DES OBJETS OU DE L'ESPACE.

L'objet est ici placé directement devant l'observateur. Les appareils employés ont pour but d'augmenter le diamètre apparent des objets et, par conséquent, d'en faciliter et d'en préciser l'observation. Ce sont de véritables instruments de stéréoscopie puisque les images observées sont le plus souvent différentes. Ils comprennent les microscopes binoculaires à un ou deux objectifs qui donnent de forts grossissements et les jumelles et téléstéréoscopes dont le grossissement est relativement faible. A cette dernière catégorie appartiennent également les jumelles télémètres employées pour la détermination rapide des distances.

A. — MICROSCOPES BINOCULAIRES.

L'origine de ces instruments remonte à CHÉRUBIN d'ORLÉANS dont la priorité fut rappelée par WHEATSTONE lorsqu'il présenta son microscope binoculaire à effet pseudoscopique. Ces instruments ont un ou deux objectifs.

a) Microscopes binoculaires à un seul objectif.

Les rayons émis par l'objet sont divisés par un système de prismes doubles. Ils le sont immédiatement à la sortie de l'objectif dans les dispositifs de A. RIDDELL, de A. NACHET, de WENHAMS et de GOLTZSCH et à la sortie de la première lentille

convergente de l'oculaire dans le dispositif de TOLLES et de PRAZMOSKI ou encore avant leur pénétration dans celle-ci, dispositif de ABBES.

Dans le microscope binoculaire Nachet (fig. 16), les rayons,

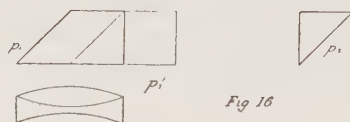


Fig 16

à leur sortie de l'objectif, sont partagés en deux faisceaux reçus séparément par chacun des oculaires, directement par l'un d'eux et à l'aide des deux prismes à réflexion totale p_1 p_2 par l'autre.

HELMHOLTZ attribue le relief que donne cet appareil à ce que les points de l'objet qui appartiennent à un même plan horizontal H donnant une image nette, tous les autres points de l'objet, non compris dans ce plan, auront pour image une tache lumineuse que HELMHOLTZ appelle « cercle de diffusion ». Le rayon des cercles est d'ailleurs d'autant plus grand que le point considéré est plus éloigné du plan H.

Considérons la moitié droite des faisceaux lumineux émanés des trois points a , b , c , situés sur un même axe secondaire de l'objectif (fig. 17) et appartenant à des plans horizontaux diffé-



Fig 17.

rents. Le relief est stéréoscopique ou pseudoscopique selon que la moitié droite des faisceaux lumineux émis par chacun

des points de l'objet est reçue par l'œil gauche ou par l'œil droit.

Lorsque le relief est stéréoscopique, l'image du point b étant nette, les points a et c auront pour images les demi-cercles de diffusion $b_1 c_1$ et $b_1 a_1$ perçus par l'œil gauche et $b_2 c_2$, $b_2 a_2$ perçus par l'œil droit (fig. 17). Les demi-cercles de diffusion par rapport aux images b_1 et b_2 du point b sont externes pour les images du point c et internes pour celles du point a . Les parallaxes angulaires des points a , b , c étant respectivement représentées par δa , δb , δc on a :

$$\delta c < \delta b < \delta a.$$

Le point b paraît donc plus rapproché que le point c et plus éloigné que le point a .

Si, au contraire, le relief est pseudoscopique, la position des cercles de diffusion par rapport à $b_1 b_2$ est interne pour les images du point c et externe pour celles du point a . On a donc :

$$\delta a < \delta b < \delta c.$$

Le point b paraît donc plus rapproché que a et plus éloigné que c .

Nous reviendrons sur cette question (voir 3^e partie, p. 55).

b) Microscopes binoculaires à deux objectifs.

Le modèle construit sur les indications de H. GREENOUGH comprend deux microscopes redresseurs complets. Les deux objectifs sont accouplés sur une même pièce et leurs axes optiques convergent sur l'objet. Le redressement des images se fait au moyen de deux prismes de PORRO (fig. 18) for-



més chacun de deux prismes rectangulaires dont l'arête est verticale pour l'un et horizontale pour l'autre. Le grossissement atteint 58 diamètres avec l'objectif Pl et l'oculaire 3.

B. — JUMELLES.

La lunette terrestre dite jumelle hollandaise fut reconstituée en 1609 par GALILÉE sur des documents incomplets. Vers la même époque, le physicien hollandais LIPPERHEY assembla deux lunettes hollandaises : ce fut l'origine des jumelles.

CHOREZ fabriqua vers 1625 des jumelles avec lesquelles on pouvait observer les objets placés à plus de cent pas. Pour les objets plus rapprochés, l'observateur ne pouvait utiliser les deux lunettes accouplées parce qu'il lui était alors impossible de rapporter à un même objet les deux images rétiniennees perçues.

Un moine SCHYRL auquel d'ailleurs on attribue à tort la découverte des jumelles, proposa un mécanisme ingénieux qui permettait de rapprocher ou d'éloigner les objectifs selon que les objets étaient proches ou lointains. Vers 1671, CHÉRUBIN d'Orléans accoupla deux longues vues au moyen d'un parallélogramme articulé qui les rendait mobiles symétriquement par rapport au plan médian de l'observateur. Mais l'optique défectueuse de ces instruments et les difficultés que présentait la fabrication des verres achromatiques en limitèrent le développement au début. Ils furent même à peu près oubliés et ne réapparurent que vers 1823. Grâce aux idées émises par un opticien viennois, VOIGTLANDERS et réalisées par un opticien français Lemierre, cet instrument devient si parfait qu'il a persisté sans grande modification jusqu'à nos jours. Les verres sont achromatiques et les deux parties de la jumelle sont à écartement variable. Si le mécanisme de la mise au point est encore annexé à l'un des tubes de la jumelle, Lemierre parle de la possibilité de le placer dans la partie médiane de l'instrument.

L'objectif des jumelles est une lentille convergente de grande distance focale. Les rayons qui donneraient une image renversée de l'objet dans le voisinage du plan focal sont reçus par une lentille divergente dont le plan focal postérieur est en avant de celui de l'objectif. Il se forme ainsi une image droite et agrandie de l'objet.

Soit G le grossissement de ces instruments, α et β les an-

gles respectifs sous lesquels l'observateur voit l'objet directement puis au moyen de la jumelle. On a, par définition,

$$G = \frac{\beta}{\alpha}$$

Pour des valeurs de ε et de α suffisamment petites on a :

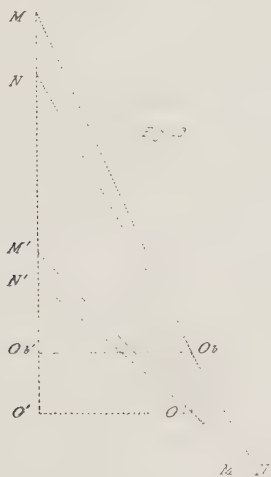
$$G = \frac{\lg \beta}{\lg \alpha}$$

ou

$$G = \frac{F}{f}$$

en désignant par F et f les distances focales des objectifs et des oculaires et en supposant l'objet suffisamment éloigné pour que son image soit sensiblement dans le plan focal de l'objectif.

Supposons qu'avec une jumelle dont Ob et Ob' , O et O' seraient les centres optiques des objectifs et des oculaires (fig. 19), l'observateur regarde deux points M et N situés dans



un plan vertical mené par l'œil gauche de l'observateur parallèlement au plan médian. Ces deux points sont en outre, par hypothèse, dans le plan horizontal mené par les centres optiques de l'instrument et pris comme plan de figure.

Soit α et α' les angles de convergence que nécessiterait

la vision directe de ces points, β et β' ces mêmes angles quand on emploie la jumelle. On a :

$$\beta = \alpha \times G$$

et

$$\beta' = \alpha' \times G$$

d'où

$$\beta - \beta' = (\alpha - \alpha') \times G$$

Il en résulte (V. p. 4) que le relief des objets vus au moyen d'une jumelle est multiplié par le grossissement de celle-ci.

A cette conception du rôle de la jumelle dans la perception du relief des objets observés, il convient d'opposer dès maintenant un fait d'expérience constaté par HELMHOLTZ et que nul d'ailleurs ne conteste : le relief des objets vus avec une jumelle paraît diminué. Nous reviendrons sur ce point.

C. — TÉLESCOPES ET JUMELLES TÉLESTÉRÉOSCOPIQUES. TÉLÉMÈTRES.

Dans ces instruments, la base visuelle est augmentée, ce qui a pour effet d'augmenter la parallaxe angulaire de chacun des points observés et par suite, d'augmenter le relief (V. p. 9).

Avec le téléstéroscope, dont la priorité est revendiquée par CLAUDET, HARDIE et WENHAM contre HELMHOLTZ, l'angle visuel des objets n'est pas modifié, de sorte que la grandeur des images rétinienne est sensiblement la même que dans la perception directe. L'augmentation de la parallaxe aurait pour effet d'augmenter le relief ; de plus, les objets nous paraissent rapprochés et rapetissés.

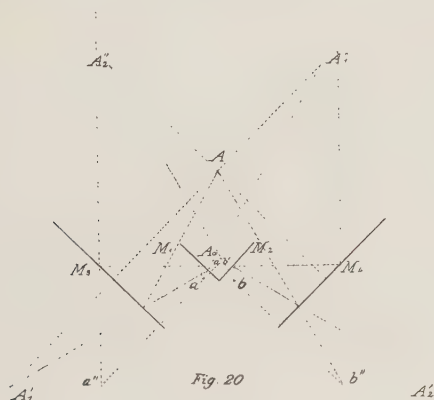
1. *Appareil d'Helmholtz* (fig. 20).

Les rayons sont reçus par deux miroirs, M_3 et M_4 , dont l'un est mobile autour d'un axe horizontal et l'autre autour d'un axe vertical, dispositif qui facilite la fusion des images. Les rayons sont renvoyés à deux miroirs M_1 et M_2 qui font entre eux un angle de 90 degrés et réfléchissent les rayons lumineux vers a et b où se trouvent placés les yeux de l'observateur.

Celui-ci voit les rayons réfléchis par M_1 comme si l'œil gauche était en a' symétrique de a par rapport à M_1 et tout se passe finalement pour lui comme si l'œil gauche était en a'' sy-

métrique de a' par rapport à M_3 . On montrerait de même que l'œil droit reçoit les rayons réfléchis par M_2 et M_4 comme s'il se trouvait en b'' symétrique de a'' par rapport un plan médian.

L'observateur placé en ab perçoit donc les images d'un point



A comme si ses yeux étaient en a'' b'' . Les rayons lumineux issus de ce point se réfléchissent tout d'abord sur les miroirs M_3 et M_4 et frappent les miroirs M_1 M_2 comme s'ils émanaient des symétriques A'_1 et A'_2 de A par rapport aux miroirs M_3 et M_4 . Ils arrivent ensuite aux yeux de l'observateur comme s'ils étaient émis par A''_1 et A''_2 symétriques de A par rapport aux miroirs M_1 M_2 . L'observateur croit voir le point A en A_0 .

Si le point A est suffisamment éloigné, les points A A''_1 A''_2 sont sensiblement confondus et la distance qui sépare les plans verticaux menés par les deux bases visuelles ab et $a''b''$ peut-être considérée comme négligeable.



Dans ces conditions (fig. 21) la parallaxe angulaire du point

A qui serait 2α dans l'observation directe devient $2\alpha'$ et on a sensiblement :

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{\lg \alpha}{\lg \alpha'} = \frac{\frac{ab}{2}}{\frac{a''b''}{2}} = \frac{ab}{a''b''}$$

Pour $\frac{a''b''}{ab} = n$, la parallaxe angulaire devient n fois plus grande et le relief serait par suite n fois plus grand. Nous reviendrons également sur ce point.

2. — *Iconoscope.*

L'iconoscope imaginé par le Dr JAVAL comprend quatre miroirs M_1, M_2, M_3, M_4 , disposés comme ceux des téléstéréoscopes (fig. 20). Mais c'est un instrument de petite dimension. L'objet placé en avant des miroirs M_1 et M_2 , est vu par l'observateur qui se trouve en avant des miroirs M_3 et M_4 .

L'ophtalmoscope binoculaire de GIRAUD-TEULON est un véritable iconoscope dont les surfaces réfléchissantes M_1, M_2, M_3 et M_4 sont formées par les faces parallèles de deux prismes.

3. — *Jumelles téléstéréoscopiques.*

Ce sont de véritables téléstéréoscopes à lentilles. L'oculaire est ici convergent et le redressement des images se fait au moyen de prismes.

Dans la jumelle de campagne de ZEISS, le constructeur s'est proposé de diminuer la longueur de l'instrument et d'en augmenter la base visuelle par l'emploi de prismes à réflexion totale. L'oculaire en est convergent ce qui augmente le champ.

Ces perfectionnements se retrouvent à un plus haut degré encore dans la jumelle de DAUBRESSE (fig. 22). Les rayons y sont



Fig 22

réfléchis par un prisme à réflexion totale et dirigés sur l'objectif d'où ils sortent pour subir une double réflexion sur le

prisme pentagonal de GOULIER qui redresse en même temps les images.

La base visuelle de l'instrument étant n fois plus grande que celle de l'observateur, la parallaxe angulaire devient également n fois plus grande et le relief est rendu lui-même n fois plus grand.

Nous avons vu d'autre part, que dans la jumelle le relief était multiplié par le grossissement de celle-ci. Il en résulte donc finalement qu'avec une jumelle téléstéréoscopique dont la base visuelle serait égale à 7 fois celle de l'observateur et dont le grossissement serait 10, le relief serait multiplié par 70 (CHWOLSON).

Nous reviendrons sur ce point.

4. — *Jumelles téléchètres.*

Mais l'application la plus importante des jumelles remonte à quelques années. Après les essais de ROLLET et de HARMER, PULFRICH construisit sur les indications de GROUSILLIERS un véritable stéréo-téléchètre. C'est une jumelle à oculaire convergent dont la distance des objectifs est égale à 7 fois la distance des oculaires. Un système de prismes de PORRO redresse les images et permet de recevoir les rayons réfractés par les objectifs.

Dans le plan focal des objectifs, se trouvent des traits verticaux conjugués deux à deux et dont la parallaxe linéaire augmente progressivement de sorte que les points résultants se trouvent à des distances croissantes de l'observateur.

Ces traits sont disposés sur une ligne brisée formée de trois segments dont le premier commence à gauche de l'observateur et le dernier se termine à sa droite. Les signes du premier segment indiquent de 100 en 100 mètres les distances comprises entre 100 et 1000 mètres et ceux du second celles comprises entre 1000 et 2000 mètres. Les signes du troisième segment indiquent successivement 2.000, 2.200, 2.400, 3.000, 3.500, 4.000, 5.000 et 10.000 mètres.

La position d'un point de l'espace comparée à celle des signes permet de déterminer la distance de ce point.

III. — PHYSIOLOGIE DES PHÉNOMÈNES VISUELS

Après avoir rappelé tout d'abord les phénomènes visuels proprement dits, nous résumerons les théories émises sur la perception des notions de distance et de relief et sur l'unité de sensation dans la vision binoculaire.

A. — PHÉNOMÈNES VISUELS.

Les phénomènes visuels comprennent :

- 1° Les phénomènes d'accommodation propres à chaque œil ;
- 2° Les phénomènes de convergence qui affectent simultanément les deux yeux.

a) **Phénomènes d'accommodation.**

Ces phénomènes comprennent les modifications de la pupille et du cristallin.

La pupille se contracte ou se dilate selon que l'objet fixé s'approche ou s'éloigne.

Les rayons de courbure des faces antérieure et postérieure du cristallin augmentent ou diminuent selon que la distance de l'objet augmente ou diminue.

La cornée ne jouerait aucun rôle dans ces phénomènes ; mais l'accommodation serait peut-être facilitée par la longueur variable du globe oculaire sous l'action des muscles de l'œil. HELMHOLTZ objecte qu'une telle modification ne pourrait se produire sans provoquer une variation du rayon de courbure de la cornée, phénomène qu'il n'a jamais constaté.

La myopie acquise paraît due cependant à l'allongement du globe oculaire sous l'action des muscles de l'œil.

b) **Phénomènes de convergence.**

Les phénomènes d'accommodation sont d'ailleurs inséparables des phénomènes de convergence. Ces derniers s'accomplissent sous l'action des muscles de l'œil et ont pour but d'amener sur la macula lutea l'image de l'objet fixé.

Il semble que les premiers aient une grande importance dans

la vision des objets rapprochés et les seconds dans la vision des objets éloignés.

Il paraît d'ailleurs évident que, dans l'examen des images obtenues selon les règles de la projection stéréoscopique, les phénomènes de convergence varient seuls et qu'on leur doit en grande partie les notions de distance et de relief.

Enfin, on a vu dans les notions préliminaires que rendre n fois plus grand l'angle de convergence propre à chacun des points de l'espace représenté, c'était rendre le relief n fois plus grand. Nous reviendrons sur ce point.

B.— DE LA PERCEPTION DU RELIEF ET DE LA DISTANCE DES OBJETS.

Les variations du diamètre apparent de la lune appelèrent tout d'abord l'attention sur le rapport qui existe entre la grandeur apparente des objets et leur distance.

L'âme, dit PTOLÉMÉE, juge de la grandeur des objets d'après l'appréciation de leur distance. Il pense que celle-ci paraît d'autant plus grande qu'un plus grand nombre d'objets se trouvent entre l'observateur et le point considéré.

ALHAZEN réfute cette opinion et attribue les variations du diamètre apparent de la lune à la réfraction des rayons lumineux par les vapeurs. Opinion qu'avait également émise PTOLÉMÉE. BACON et VITELLION, que combat PORTA pensent ainsi.

Si le diamètre apparent de la lune paraît plus grand à l'horizon, dit GASSENDI, c'est que la lumière est moins intense et que la pupille se dilate. BERKELEY attribue ce fait à l'aspect troublé et terne de la lune à l'horizon. SMITH trouve que deux points dont la distance angulaire a une valeur quelconque, mais constante, paraissent plus rapprochés lorsqu'ils sont au zénith que lorsqu'ils sont à l'horizon. Ce que confirme LAMBERT qui compare la voûte céleste à une conque.

MALEBRANCHE et BOUGUER, contrairement à ce qu'en pensait VARIGNON, reconnaissent l'influence de la distance des objets sur l'évaluation de leur grandeur absolue.

Pour KEPLER et DESCARTES, la distance des yeux joue le rôle de base dans l'appréciation des distances. L'habitude permettrait d'ailleurs de juger avec un œil seulement et grâce aux

variations de l'éclairement, du rapport qui existe entre la grandeur de l'objet et sa distance.

La différence des images rétinienne avait appelé aussi l'attention d'EUCLIDE, de GALIEN, de PORTA et d'AGUILONIUS. LÉONARD DE VINCI en concluait qu'aucune peinture ne pouvait rendre les sensations de la vision binoculaire.

Avec les premières expériences de stéréoscopie, dont la première est due à SMITH, les observateurs reconnaissent l'influence de la convergence. WHEATSTONE indique sur ce point une expérience intéressante qu'il réalise au moyen de son stéréoscope à miroir (V. p. 17). Les miroirs étant immobiles, on éloigne les images conjuguées. Les images rétinienne diminuent mais la distance des objets paraît invariable. La convergence est en effet restée sensiblement la même. Si, au contraire, on laisse les images fixes et qu'on augmente ou diminue l'angle que font entre eux les deux miroirs, ce qui augmente ou diminue l'angle de convergence sans modifier la grandeur de l'image rétinienne de l'objet, la grandeur apparente des objets et leur distance augmentent dans le premier cas et diminuent dans le second.

C. — DE L'UNITÉ DE SENSATION DANS LA VISION BINOCULAIRE.

Plusieurs théories expliquent l'unité de sensations dans la vision binoculaire. La première, dite théorie de l'identité, remonte à GALIEN. Elle est basée sur l'anatomie de l'homme et sur les observations d'hémiopie, affection dans laquelle le malade ne perçoit que la moitié des objets. Le nerf optique se divise dans le chiasma en deux parties qui se rendraient à l'un et l'autre œil en des points semblablement placés et appelés points identiques. Pour JOANNÈS MÜLLER, les points rétinien qui ont même longitude et même latitude dans chacun des yeux sont des points identiques. Longitude et latitude étant rapportées à deux méridiens perpendiculaires l'un à l'autre et passant par la fovea centralis. L'un de ces méridiens appartient au plan horizontal.

WOLKMANN a montré, qu'en réalité l'un et l'autre méridien faisaient avec la verticale un angle de deux degrés. Chaque nerf innervant la moitié interne de l'une des rétines et la moi-

tié externe de l'autre, les points identiques correspondent donc soit à la moitié gauche, soit à la moitié droite de l'encéphale. GALIEN croyait à la réunion, dans le chiasma, des deux fibres nerveuses se rendant à deux points identiques, ce qui expliquerait l'unité de sensation puisque les deux images rétiniennes d'un même point seraient pour ainsi dire reçues par la même cellule cérébrale. Si l'histologie n'a pas encore pu établir la justesse de cette conception, l'anatomie comparée lui est favorable. La demi-décussation du chiasma optique n'existe en effet ni chez les oiseaux, ni chez les poissons où la vision binoculaire d'un même objet est impossible.

Cette théorie eut et a encore de nombreux partisans : NEWTON, ROHAULT, HARTLEY, WOLLASTON, JOHN MÜLLER.

Mais l'observation des phénomènes stéréoscopiques lui paraît cependant peu favorable. Deux expériences notamment sont invoquées contre elle.

Dans l'une, citée par le D^r TSCHERNING, l'observateur regarde au stéréoscope les conjugués aa' et bb' de deux points A et B situés dans son plan médian (fig. 23).

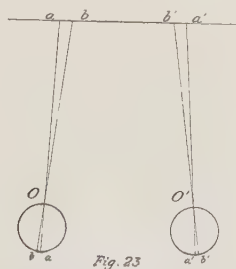


Fig. 23

Les images stéréoscopiques du point A sont en $a a'$, celles du point B en bb' et on a $ab = a' b'$.

Les images en aa' étant reçues par le fovea centralis de chaque œil, les images b et b' sont de part et d'autre de celles-ci et ne sont pas par conséquent reçues par des points identiques. Cependant l'observateur ne perçoit qu'une seule image du point B. Il en est de même si l'observateur fixe b et b' . Les images a et a' reçues par des points rétinien non identiques sont cependant fusionnées. Nous reviendrons sur cette expérience (V. p. 98).

A PANUM qui donne à la théorie de l'identité un sens plus

large en disant que les contours analogues reçus par des points réiniens à peu près correspondants (Cercles sensitifs de PANUM) se fusionnent, WOLKMANN opposa la fusion de deux couples de lignes présentant des différences de distance égales. Cette fusion est d'autant plus facile que ces lignes sont plus espacées. Ce qu'explique PANUM en faisant remarquer que l'une des lignes étant perçue par la fovea centralis, les images de l'autre se fusionnent d'autant plus difficilement qu'elles sont plus près de la fovea centralis où le diamètre des cercles sensitifs est beaucoup plus petit.

HELMHOLTZ oppose alors à PANUM l'expérience suivante : On considère au stéréoscoque deux lignes A et B dont les images conjuguées $a b$, $a' b'$ (fig. 24) sont séparées par un intervalle



Fig. 24

de 4 millimètres dans les images de gauche et de 5 millimètres dans celles de droite. L'observateur fusionne à la fois aa' et bb' . Mais l'addition d'une droite cc' placée à 3 millimètres de a et 3 millimètres de a' empêche de fusionner les droites bb' qui sont alors vues doubles.

Or, dit HELMHOLTZ, les images de b et de b' ont été rigoureusement reçues dans les deux cas et dans chaque œil par les mêmes points réiniens. Ceux-ci sont identiques dans la première partie de l'expérience et ne le sont plus dans la seconde. Nous reviendrons également sur cette expérience.

La théorie des points identiques fut alors reprise et précisée par HERING qui l'énonce ainsi : Les excitations lumineuses de points identiques ne peuvent produire qu'une sensation lumineuse simple et les excitations lumineuses de points appartenant à des cercles identiques peuvent être également fusionnées.

Mais HELMHOLTZ objecte les considérations suivantes : Soit

a et a' deux points identiques de chaque rétine et un point b voisin de a (fig. 25). Comment admettre, dit-il, que les images

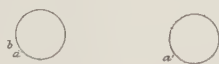


Fig. 25

peuvent fusionner quand elles sont reçues par les points b et a' alors que les images reçues par b et a sont nettement distinctes.

Avec la théorie des projections, l'unité de sensation devient un fait d'expérience. Soit A et B deux points de l'espace suffisamment éloignés de l'observateur pour que les rayons visuels de chacun d'eux soient sensiblement parallèles. Supposons que B soit à 5 degrés à droite de A (fig. 26). Les ima-

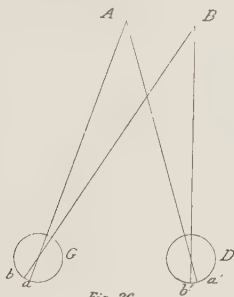


Fig. 26

ges des points considérés se feront en $a a'$ et $b b'$. Si a et a' sont reçues par la force centralis, b se trouve à 5 degrés à gauche de a et b' à 5 degrés à gauche de a' . L'œil gauche place le point B à cinq degrés à droite du point A . Il en est de même de l'œil droit. Il y a unité d'impression parce que le point B est vu par les deux yeux dans la même direction.

Cette théorie compte de nombreux partisans. KEPLER, AGUILONIUS qui pense que les points sont vus simples ou doubles selon que leur projection sur un plan passant par le point de fixation et qu'il appelle horoptère est simple ou double et PORTERFIELD pour qui les points A et B sont vus simples parce que nous les plaçons dans l'espace à leur place réelle. HELMHOLTZ est un partisan convaincu de la théorie des projections, mais pour lui la théorie des points identiques, telle que la conçoivent PANUM et HERRING, ne diffère de la théorie

des projections que par une conception différente dans l'acquisition de la faculté de ramener à un objet unique les deux images rétiniennes de cet objet. Cette faculté est naturelle et résulte de la structure de l'organe pour les partisans de la première ; elle est acquise au contraire pour les partisans de la seconde.

Enfin, la théorie du Docteur JAVAL attribue l'unité de sensations à deux causes différentes : la neutralisation ou suppression partielle de l'une des images et les mouvements oculaires. La neutralisation de l'une des deux images avait eu déjà quelques partisans : PORTA, GASSENDI, TACQUET, GALL, DU TOUR. Elle est basée sur l'antagonisme des champs visuels, phénomène par lequel des images rétiniennes trop différentes ne peuvent être fusionnées. L'observateur perçoit alors simultanément des parties variables de l'un et l'autre champ.

À l'appui de cette théorie, le Dr JAVAL cite l'expérience suivante : Une règle est placée obliquement devant les yeux de l'observateur de telle sorte que le milieu *M* de cette règle se trouve dans le plan médian (fig. 27). L'observateur voit cette

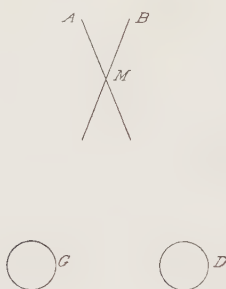


Fig. 27

règle avec les deux yeux comme il la voit avec l'œil gauche si elle occupe la position *A* et comme il la voit avec l'œil droit si elle occupe la position *B*.

Quant aux mouvements oculaires leur importance avait été signalée par BRÜCKE. Ils sont nécessaires pour donner une idée précise du relief des corps, mais ils ne sont pas cependant indispensables. DOVE, WOLKMANN, AUGUST, RECKLINGHAUSEN ont en effet obtenu la sensation de relief en observant des

stéréographies éclairées par l'étincelle électrique et dans des conditions telles que tout mouvement des yeux était impossible. Mais il convient aussi de noter que cette expérience a donné à certains observateurs, un résultat négatif. Nous reviendrons sur ce point (V. p. 98).

DEUXIÈME PARTIE

DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE DANS LA PERCEPTION DIRECTE OU INDIRECTE DU RELIEF

I. — EXPÉRIENCES DE MICROSTÉRÉOGRAPHIE

Ces expériences ont été faites avec le microscope Quidor Nachet (fig. 28 et 29) qui diffère du modèle ordinaire par l'inclinaison que peut prendre le tube du microscope à gauche et à droite de la verticale et par l'indépendance de la platine. Un diaphragme-iris se trouve en outre au-dessus du revolver.

L'inclinaison est mesurée par un tambour gradué. Une vis de serrage S permet d'immobiliser l'appareil dans une position déterminée. La mise au point par la crémaillère se fait au moyen du bouton de manœuvre F comme dans le modèle ordinaire. Mais la platine qui est à rotation et à déplacements rectangulaires se meut dans le sens vertical au moyen de la vis micrométrique L. Un index I affleure à un point de repère porté par le support de la platine quand la face supérieure de celle-ci coïncide avec l'axe de rotation. Ce dispositif est nécessaire pour que l'objet soit et reste centré pendant le déplacement angulaire du tube du microscope. La chambre noire se place au-dessus du tube du microscope et permet de prendre automatiquement et successivement sur une même plaque et sous deux angles différents deux vues du même objet. La photographie est faite avec ou sans oculaire. L'inversion des clichés se fait pendant l'opération. Elle doit être supprimée quand on emploie l'oculaire.

Le grossissement, exprimé en diamètres, varie de 4 à 200, mais la chambre noire devient indépendante du microscope quand l'objet atteint ou dépasse 15 millimètres. Elle subit alors une rotation de 180° et reçoit un véritable objectif photogra-

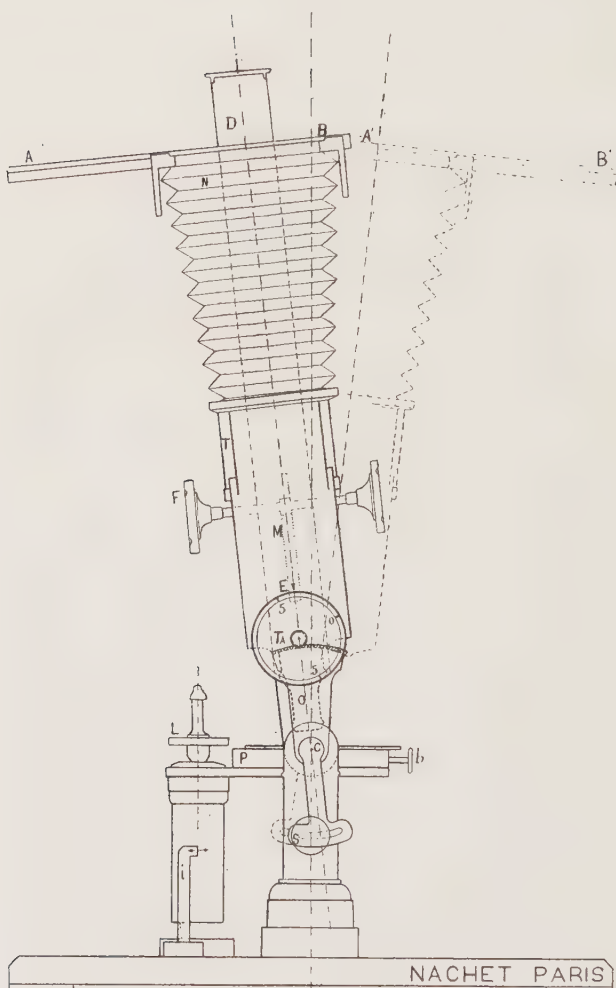


FIG. 28. — *M*, Corps du microscope ; *O*, objectif ; *F*, bouton manœuvrant la crémaillère de mise au point ; *C*, centre de rotation ; *E*, tambour mesurant l'inclinaison ; *S*, bouton de serrage immobilisant l'appareil dans ses positions successives.

P, Platine, indépendante du microscope, à rotation et à mouvements rectangulaires, déplacement vertical par la vis micrométrique *L* ; *b*, l'un des boutons commandant les mouvements rectangulaires ; *I*, index affleurant à un point de repère de *L* quand la face supérieure de la platine passe rigoureusement par l'axe de rotation *c*.

N, chambre noire et son châssis 8×16 ; *AB* et *A'B'* les deux positions successives du châssis pour la prise d'un cliché stéréoscopique ; *D*, tige-support de la chambre fonctionnant : (a) comme annexe du microscope, (b) comme chambre indépendante munie d'un objectif photographique ; *T*, double tube empêchant toute infiltration de lumière diffuse ; diaphragme et obturateur au-dessus du revolver.

phique. Le rapport linéaire de l'image à l'objet est alors compris entre 4 et $1/10$.

Or deux facteurs interviennent dans ces expériences pour différencier les deux images du même objet : la distance qui

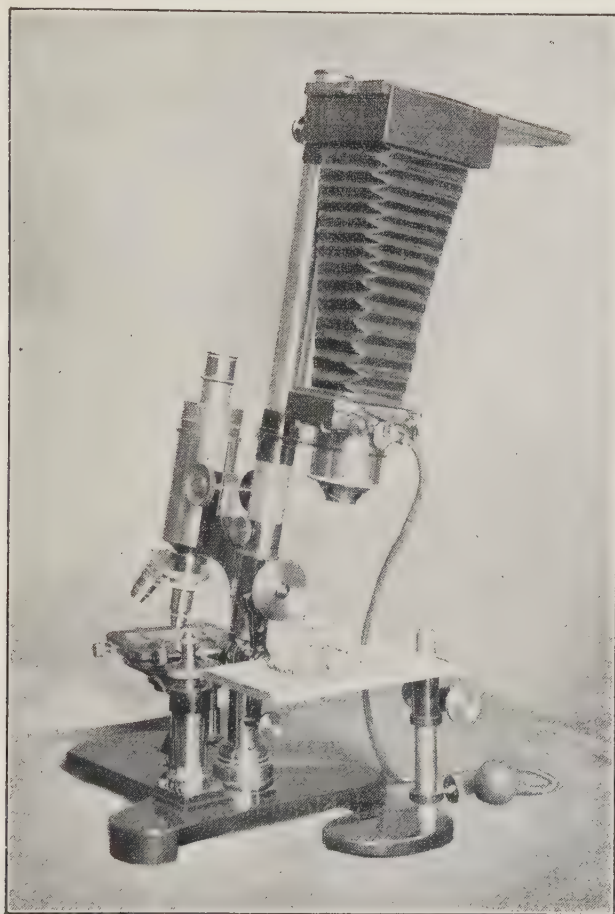


FIG. 29. — Dispositif pour les grossissements inférieurs à 8 et pour les réductions.

sépare les deux positions successives du centre optique de l'objectif et l'angle d'inclinaison que fait avec la verticale l'axe optique de l'instrument. Cet angle est évidemment le même que celui fait par le plan horizontal avec la plaque sensible.

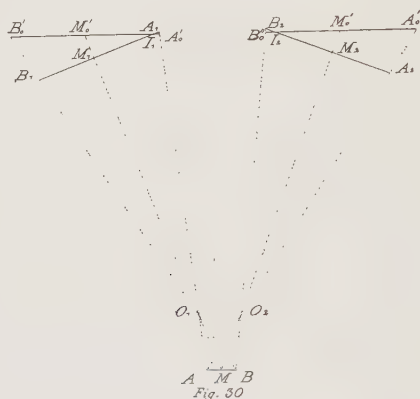
Celle-ci reste d'ailleurs parallèle au plan focal de l'objectif pendant le déplacement angulaire.

Nous connaissons l'influence du premier facteur sur la parallaxe. La formule

$$\delta = \frac{2ab}{d}$$

dans laquelle δ représente la parallaxe, $2a$ l'écartement des objectifs, b leur distance à la plaque sensible et d la distance de celle-ci à l'objet, a été établie en supposant le tableau parallèle au plan vertical mené par les centres optiques des deux objectifs. Cette formule n'est donc applicable ici qu'aux images conjuguées reçues par les droites d'intersection I_1 et I_2 de la plaque sensible avec le plan horizontal qui la contenait primitivement (fig. 30).

Il convient de rappeler que la plaque photographique peut



être substituée en effet au tableau, sous réserve d'inverser les clichés (V. 1^{re} partie, p. 11).

La parallaxe des autres points conjugués est évidemment modifiée. Les images conjuguées $A'_0 M'_0 B'_0$ et $A''_0 M''_0 B''_0$, qui correspondraient aux positions O_1 et O_2 de l'objectif déplacé parallèlement au plan de l'objet, sont remplacées par les images conjuguées $A_1 M_1 B_1$ et $A_2 M_2 B_2$.

Nous nous proposons d'établir la formule de cette nouvelle parallaxe et d'étudier les modifications qu'elle peut apporter dans la sensation du relief. Nous établirons enfin, dans la troi-

sième partie, les relations qui existent entre l'inclinaison successive donnée à l'axe optique et le relief des objets photographiés.

II. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE

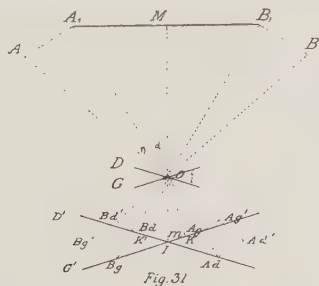
L'étude de l'inclinaison du système optique dans les appareils photographiques, dans les jumelles et dans l'appareil visuel, conduit à une théorie précise du relief donné par les microscopes binoculaires à un seul objectif et donne de la stéréoscopie une loi générale qui sera précisée dans la troisième partie.

A. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE EN PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE.

Deux cas se présentent selon que l'appareil a un ou deux objectifs. Les stéréogrammes sont pris successivement dans le premier cas et simultanément dans le second.

a) Appareils à un objectif. Méthode des rotations.

Dans une première méthode, dite méthode des rotations, l'écartement des objectifs est supprimé. Les images conjuguées sont prises successivement au moyen d'un seul objectif mobile autour d'un axe vertical passant par son centre optique. L'axe principal de l'objectif reste perpendiculaire au plan des images, mais la plaque sensible peut se déplacer dans son plan



afin que les images conjuguées d'un point quelconque du plan

médian soient séparées l'une de l'autre par une distance convenable que nous déterminerons ultérieurement.

Soit O le centre optique de l'objectif (fig. 31) et deux points A_1 et B_1 symétriques par rapport à un point M du plan médian. Nous supposons $A_1 M B_1$ et O dans un même plan horizontal pris comme plan de figure. Soit Ag, m, Bg et Ad, m, Bd les images conjuguées des points considérés selon que la portion antérieure de l'axe principal de l'objectif se trouve à gauche ou à droite du plan médian.

Les images conjuguées étant observées au stéréoscope de telle sorte que $ag m'bg$ soient vus par l'œil droit et $admbd$ par l'œil gauche (fig. 32), l'observateur éprouve une sensation de



Fig. 32

relief identique à celle qu'il éprouverait par la vision monoculaire et directe des objets eux-mêmes.



Fig. 33

La disposition inverse (fig. 33) donne le relief pseudoscopique.

Etude théorique.

Considérons une chambre photographique à deux objectifs. Par définition, nous appellerons plan de base le plan vertical passant par les centres optiques des deux objectifs et plan de front tout plan vertical parallèle au plan de base. La distance des centres optiques des deux objectifs est la base visuelle de l'instrument et le plan vertical perpendiculaire à la base visuelle et passant par le milieu M de cette base est le plan médian. L'espace médian est l'espace compris entre les plans verticaux parallèles au plan médian et menés par les centres optiques.

Dans la méthode des rotations la base visuelle est réduite à un point et le plan médian est, par définition, le plan bissecteur du dièdre formé par les deux positions successives de l'axe optique (fig. 31).

Soit XY la trace du plan médian (fig. 31) ; D et G les posi-



FIG. 34 et 35. — Deux clichés ont été obtenus successivement par la méthode des rotations et disposés contrairement (cliché supérieur fig. 34) ou conformément (cliché inférieur, fig. 35) aux indications théoriques données par l'étude des variations de la parallaxe. L'objectif était une lentille simple ayant 8 centimètres de distance focale, la plaque sensible se déplaçait parallèlement au plan focal de l'objectif.

tions successives de l'objectif mobile ; $2i$ l'angle plan du dièdre DOG dont le plan bissecteur est perpendiculaire au plan médian XY ; OK et OK' les perpendiculaires abaissées de O sur les positions successives de la plaque sensible ; A un point de l'espace rabattu sur le plan de figure et déterminé par l'angle α du plan vertical OAA₁ avec le plan médian et par l'angle β que fait le rayon OA avec sa projection, Ag et Ad les projections dans le plan de figure, des images du point A dans les plans G' et D', positions successives de la plaque sensible. Désignant par f la distance focale de l'objectif, on a :

$$Ad\ I - Ag\ I = f \left[\frac{2 \sin 2i}{\cos 2\alpha + \cos 2i} - 2 \operatorname{tg} i \right]$$

Pour $i = 6^\circ$ cette formule devient :

$$Ad\ I - Ag\ I = f \left[\frac{0,4178}{\cos 2\alpha + 0,97815} - 0,2102 \right]$$

ou sensiblement

$$Ad\ I - Ag\ I = \frac{f}{5} \times \operatorname{tg}^2 \alpha (1).$$

Pour un point B symétrique de A par rapport à xy on aura de même :

$$Bg\ I - Bd\ I = \frac{f}{5} \times \operatorname{tg}^2 \alpha$$

d'où l'on tire :

$$Bg\ I - Ag\ I = \frac{f}{5} \times \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Si l'on considère enfin que les images conjuguées de tous les points du plan médian contenus dans le plan de figure, se projettent en m , on voit que le premier résultat de cette méthode est de déterminer dans chaque image un déplacement du plan médian vers la gauche ou vers la droite selon que le cliché sera vu au stéréoscope par l'œil droit ou par l'œil gauche.

Rabattons le plan vertical OAA₁ sur le plan de figure. Il vient :

$$Ad\ Ad' - Ag\ Ag' = f \operatorname{tg} \beta \times \frac{4 \sin \alpha \sin i}{\cos 2\alpha + \cos 2i}$$

formule qui pour $i = 6^\circ$ devient sensiblement

$$Ad Ad' - Ag Ag' = \frac{f}{5} \times tg \alpha \times tg \beta \times \frac{1}{\cos \alpha} (2).$$

Le second résultat de cette méthode est donc de déterminer une différence de hauteur des images stéréoscopiques d'un même point de l'espace.

Soit d, e, h , les distances OM, A_1M , A_1A coordonnées du point considéré par rapport aux trois faces du trièdre rectangle dont le sommet coïncide avec le centre optique O, une première face avec le plan médian et une seconde avec le plan horizontal. Posons

$$Ds = Ad I - Ag I$$

et

$$Dh = Ad Ad' - Ag Ag'.$$

Les formules (1) et (2) établies précédemment deviennent :

$$Ds = \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$$

et

$$Dh = \frac{f}{5} \times \frac{eh}{d^2}$$

Il convient de noter que, par raison de symétrie, les images conjuguées de deux points de l'espace symétrique par rapport au plan médian, sont séparées par la même distance dans chacune des stéréographies obtenues.

Calcul de la parallaxe linéaire.

Nous ferons abstraction, dans le calcul de la parallaxe, des différences de hauteur entre les images conjuguées d'un même point de l'espace. Les points considérés appartiennent donc au plan horizontal mené par le centre optique de l'objectif.

Soit mm' les images conjuguées d'un point M du plan médian et $ad ag$ celles d'un point A appartenant au plan vertical mené par M perpendiculairement au plan médian (fig. 32).

On a :

$$ad ag = mm' + \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$$

Représentant par $2a$ l'écartement des yeux de l'observateur, par Δ la plus grande valeur que puisse prendre $\frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$ et posant

$$mm' = 2a - \Delta$$

la formule précédente devient :

$$adag = 2a - \Delta + \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$$

ce qui donne pour la parallaxe δ_{A1} du point A :

$$\begin{aligned}\delta_{A1} &= 2a - adag \\ &= \Delta - \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}\end{aligned}$$

Si nous considérons la disposition inverse des conjugués *ag ad* du point A (fig. 33), nous aurons :

$$\begin{aligned}adag &= mm' + m'ag - mad \\ &= mm' - \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}\end{aligned}$$

En posant $mm' = 2a$ et en représentant par δ_{A2} la parallaxe du point A, on a :

$$\delta_{A2} = \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$$

Aucun des deux dispositifs précédents ne répond aux variations que subit la parallaxe dans l'observation directe. La parallaxe, en effet, augmente avec les valeurs de d dans le premier et avec celles de e dans le second. La méthode des rotations n'est donc pas rationnelle. Mais elle nous permettra de préciser ultérieurement la physiologie des phénomènes visuels. Il convient d'ailleurs de noter que la disposition des images conjuguées obtenues par cette méthode et donnant le relief stéréoscopique est inverse de celle que prévoit l'étude théorique. La parallaxe d'un point de l'espace y est en effet donnée par la formule

$$\delta_{A1} = \Delta - \frac{f}{5} \times \frac{e^2}{d^2}$$

La parallaxe d'un point quelconque croît ou décroît donc selon que la distance de ce point augmente ou diminue.

Les clichés des figures 34 et 35 ont été obtenus par la méthode des rotations et répondent respectivement aux dispositifs indiqués par les figures 32 et 33. Le relief stéréoscopique dans le premier cliché est pseudoscopique dans le second. La parallaxe linéaire étant la même pour tous les points de l'espace si-

tués dans un même plan horizontal, sur le même axe secondaire de l'objectif, ne joue évidemment aucun rôle dans les phénomènes observés. Nous sommes donc en présence d'une exception remarquable à la loi fondamentale de la stéréoscopie et sur laquelle nous reviendrons.

**6) Du relief donné par les microscopes binoculaires
à un seul objectif.**

Si séduisante que soit la théorie donnée par Helmholtz du microscope binoculaire Nachet, il est permis de faire observer qu'elle suppose dans les images un manque de netteté que l'expérience ne révèle point tout au moins dans les limites de la perception nette du relief.

On sait d'ailleurs que les objets examinés avec un microscope ordinaire donnent une impression assez vive de leur relief. Il en est ainsi tout particulièrement dans l'examen des objets avec l'oculaire de projection Nachet.

On serait donc tenté d'expliquer de cette façon et en s'appuyant sur les remarques de M. le Professeur Chauveau, le relief donné par les microscopes binoculaires si, dans ceux-ci, les phénomènes pseudoscopiques n'intervenaient pas.

Il était donc intéressant de chercher une autre explication des phénomènes constatés. Nous allons montrer que le relief donné par le microscope binoculaire Nachet est identique à celui que nous avons obtenu par la méthode des rotations.

Il convient tout d'abord de remarquer que, dans les deux cas, le centre optique de l'objectif conserve la même position par rapport à l'objet. Mais les images sont obtenues successivement dans la méthode des rotations et simultanément, grâce à un système de prismes dans les microscopes binoculaires.

On a vu d'autre part que, dans la méthode des rotations (fig. 31, 32 et 33), les images conjuguées $ad\ m\ bd$ et $ag\ m'\ bg$ d'un objet $A\ M\ B$ dont l'axe de symétrie M se trouve dans le plan médian tel qu'il a été défini, donnent le relief stéréoscopique ou pseudoscopique selon que l'image $ad\ m\ bd$ est vue par l'œil gauche ou par l'œil droit (fig. 32 et 33). Désignons par De et Di les diamètres apparents des moitiés externes et internes des images conjuguées par rapport au plan médian de

l'observateur. On voit que D_i est plus petit ou plus grand que D_e selon que le relief est stéréoscopique ou pseudoscopique.

Ceci posé, considérons le microscope binoculaire Nachet à prisme mobile. Rappelons que le relief est stéréoscopique quand l'œil gauche de l'observateur reçoit l'image $a_1 b_1 c_1$ (fig. 17) formée par la moitié droite des faisceaux lumineux émis par chacun des points de l'objet tandis que l'œil droit reçoit l'image $a_2 b_2 c_2$ formée par la moitié gauche de ces mêmes faisceaux.

Étudions les phénomènes qui se passent quand le relief de stéréoscopique devient pseudoscopique.

Observons dans ce but un micromètre au centième avec l'objectif 7.

Nous constatons tout d'abord que l'image virtuelle reçue par l'œil droit ne peut être vue nettement dans toute son étendue. L'extrémité gauche de l'image du vernier, c'est-à-dire l'extrémité la plus rapprochée du plan médian étant au point, l'extrémité droite ne l'est pas. Supposons que, dans ce cas, le relief soit stéréoscopique.

Enfonçons le prisme mobile sans toucher à la crémaillère. Le dispositif devient pseudoscopique et l'extrémité droite de l'image est au point tandis que l'extrémité gauche n'y est plus.

L'image virtuelle du vernier n'est donc pas perpendiculaire à l'axe optique de l'oculaire droit et ses positions successives sont symétriques par rapport à cet axe.

Déterminons l'angle α que fait l'image virtuelle avec la normale à l'axe optique de l'oculaire droit.

L'extrémité gauche de l'image étant au point, il est nécessaire de tourner de six divisions le bouton de la vis micrométrique du microscope pour amener au point l'extrémité droite. Le déplacement se fait de bas en haut si le relief est stéréoscopique et de haut en bas s'il est pseudoscopique.

Le bouton de la vis micrométrique étant divisé en 100 parties égales et le pas de vis étant de $0^{\text{mm}}5$, le déplacement vertical de l'instrument est de $0^{\text{mm}}03$. L'axe optique de l'oculaire droit faisant avec la normale un angle de 8° , le centre optique de cet oculaire a été déplacé de $\frac{0,03}{\cos 8^\circ}$ soit sensiblement de

$0^{\text{mm}}03$. L'image du vernier mesurant $0^{\text{mm}}30$ l'inclinaison α est donnée par la formule :

$$\text{tg } \alpha = \frac{0,03}{0,3}$$

On a sensiblement $\alpha = 6^\circ$.

L'image virtuelle que perçoit l'observateur occupe donc la position I ou I' (fig.36) selon que le relief est stéréoscopique ou pseudoscopique. Dans le premier cas elle fait un angle de 96 degrés avec l'axe optique de l'oculaire droit et dans le second un angle de 84 degrés. L'axe optique de l'oculaire droit étant OX, le centre optique de celui-ci se trouve à droite de la normale ON menée au plan de l'image I par le milieu O de celle-ci et à gauche de la normale ON' menée au plan de l'image I' par ce même point O. Il en résulte donc qu'ici, comme dans la méthode des rotations, le diamètre apparent de la moitié interne de l'image est plus petit ou plus grand que le diamètre apparent de sa

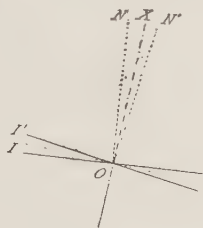


Fig. 36

moitié externe selon que le relief est stéréoscopique ou pseudoscopique.

Le relief obtenu avec le microscope binoculaire Nachet est donc bien identique à celui que donne la méthode des rotations.

Il en est encore de même du relief donné par les stéréographies obtenues par Moitessier en masquant successivement l'une et l'autre moitié de l'objectif. L'examen des clichés publiés montre en effet que la parallaxe est encore la même pour les points de l'objet situés dans un même plan horizontal sur le même axe secondaire de l'objectif et que la partie gauche de l'objet est plus grande ou plus petite que la partie droite selon que l'épreuve est vue par l'œil gauche ou par l'œil droit (dispositif stéréoscopique).

c) Appareils à deux objectifs.

Les méthodes stéréoscopiques que nous allons examiner permettent de prendre simultanément deux clichés du même objet. Ce sont, par définition, les méthodes convergente, parallèle et divergente caractérisées respectivement par la convergence, le parallélisme et la divergence des axes optiques des deux objectifs. Après avoir calculé la parallaxe donnée par chacune d'elles nous poserons les principes d'une méthode stéréoscopique rationnelle qui nous permettra l'étude comparée des méthodes exposées.

Calcul de la parallaxe.

1. — Méthode convergente (fig. 37).

Supposons les centres optiques des deux objectifs en O O' et séparés par une distance $2a$ égale à l'écartement des yeux de l'observateur. Nous modifierons ultérieurement cette distance s'il y a lieu.

Prenons pour plan de figure le plan horizontal passant par O O' et considérons un point A de ce plan déterminé par

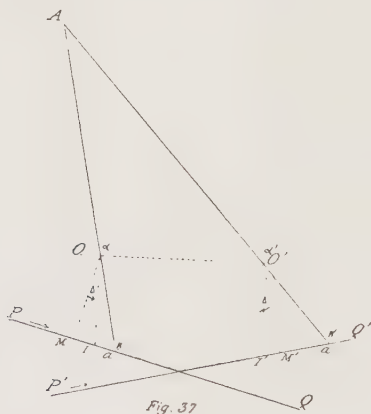


Fig. 37

les angles α et α' que font avec OO' les axes secondaires du point A .

Soit PQ et $P'Q'$ les plaques sensibles parallèles toutes deux au plan focal de l'objectif qui les impressionne ; OM et $O'M'$ les perpendiculaires abaissées de O et O' sur ces pla-

ques et OI , $O'I'$ les parallèles en plan médian menées par les deux centres optiques O et O'

Les images a et a' du point A seront vues au stéréoscope en $a_1 a'_1$ (fig. 38). Nous avons vu en effet, dans la première



Fig. 38

partie, la nécessité d'inverser les clichés afin que les points de l'espace représenté conservent leur distance et leur position respectives.

On a donc $ia_1 = Ia$ et $i'a'_1 = I'a'$

La parallaxe δ_{A1} du point A sera donc :

$$\delta_{A1} = i'i' - a_1 a'_1$$

ou

$$\delta_{A1} = -a_1 i - i' a'_1$$

Les segments étant comptés positivement dans le sens PQ et $P'Q'$, il vient :

$$ia_1 = -Ia$$

$$i'a'_1 = -I'a'$$

d'où

$$\delta_{A1} = I'a' - Ia$$

Soit 2Δ l'angle de convergence des axes optiques des objectifs. Convenons de considérer Δ comme positif ou négatif selon que les axes optiques se rencontrent en avant ou en arrière des objectifs.

La figure 37 donne :

$$I'a' = f [tg \Delta - ctg \beta']$$

et

$$Ia = -f (ctg \beta - tg \Delta)$$

d'où finalement :

$$\delta_{A1} = f [2 tg \Delta + ctg \beta - ctg \beta']$$

ou en remplaçant β par $\alpha + \Delta$ et β' par $\alpha' - \Delta$:

$$(1) \quad \delta_{A1} = f [2 tg \Delta + ctg (\alpha + \Delta) - ctg (\alpha' - \Delta)]$$

Cette formule est applicable aux stéréogrammes obtenus par le microscope Quidor-Nachet. Celui-ci n'est en effet qu'une application de la méthode convergente.

2. — *Méthode parallèle.*

Soit δ_{A2} la parallaxe du point A. Elle est donnée par la formule :

$$(2) \quad \delta_{A2} = f [\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \alpha']$$

obtenue en faisant $\Delta = 0$ dans la formule (1).

3. — *Méthode divergente.*

La parallaxe δ_{A3} du point A est donnée par la formule :

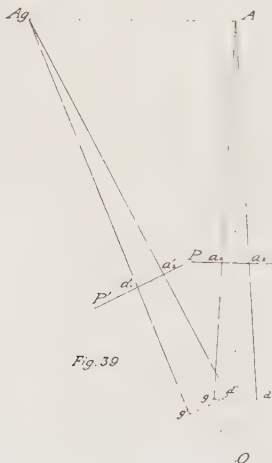
$$\delta_{A3} = f [\operatorname{ctg} (\alpha - \Delta) - \operatorname{ctg} (\alpha' + \Delta) - 2 \operatorname{tg} \Delta]$$

obtenue en remplaçant Δ par $-\Delta$ dans la formule (1).

4. — *Principe d'une méthode stéréoscopique rationnelle.*

Il semblerait à première vue que la méthode parallèle fût la seule exacte puisque, seule, elle observe rigoureusement les règles de la projection stéréoscopique. Mais pour établir celles-ci, nous avons supposé fixe la position des yeux de l'observateur placé devant les objets eux-mêmes : ce qui nous paraît inexact. En réalité, l'observateur tourne la tête à gauche ou à droite selon qu'il observe les objets placés à sa gauche ou à sa droite, ce qui modifie très sensiblement la parallaxe des points non situés dans le plan médian.

Supposons en effet les yeux de l'observateur en gd (fig. 39) et



soit O la trace de l'axe de rotation de la tête. Considérons deux points A et Ag situés dans un même plan parallèle à gd

A appartenant seul au plan médian primitif de l'observateur. Soit α' la rotation que doit subir le plan médian pour contenir Ag. La base visuelle de l'observateur vient alors en $g'd'$ et le plan du tableau, primitivement en P, vient en P'. La parallaxe $2a - a_1 a_2$ du point A est donnée par la formule

$$\delta_A = \frac{2ab}{d}$$

Celle du point Ag est $2a - a'_1 a'_2$. Elle est donnée sensiblement par la formule :

$$\delta_{Ag} = \frac{2ab \cos \alpha'}{d}$$

Cette parallaxe varie donc pour les points d'un même plan de front ; elle décroît lorsque le point considéré s'éloigne du plan médian. Dans une méthode stéréoscopique rationnelle les parallaxes des points représentés seraient données par la formule précédente.

Soit α l'angle que fait avec la base visuelle primitive le rayon visuel passant par le nouveau point observé.

On a :

$$\alpha = \alpha' + 90$$

Et la formule précédente devient :

$$\delta_{Ag} = \frac{2ab \sin \alpha}{d}$$

5. — *Etude comparée des méthodes convergente, parallèle et divergente.*

Nous nous proposons de déterminer, pour chacune des méthodes exposées, les variations de la parallaxe d'un point mobile dans un plan de front et déterminé par les angles α et α' que font avec la base visuelle les axes secondaires des objectifs menés par ce point.

Nous supposons ce plan de front suffisamment éloigné pour que les angles α et α' soient sensiblement égaux. Nous ferons varier α de 45 à 135 degrés, ce qui suppose pour chaque objectif un angle de champ de 90°. Enfin, les épreuves conjuguées seront placées à une distance telle que la parallaxe linéaire soit positive pour toute valeur de α comprise entre 45 et 135 degrés.

Nous étudierons successivement les méthodes rationnelle, parallèle, convergente et divergente.

Méthode rationnelle.

La parallaxe est donnée par la formule :

$$\delta r = \frac{2 ab \sin \alpha}{d}$$

Ses variations sont résumées par le tableau suivant :

pour $\alpha = 45^\circ$ on a $\delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,707$

$\alpha = 60^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,866$

$\alpha = 75^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,965$

$\alpha = 90^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 1$

$\alpha = 105^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,965$

$\alpha = 120^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,866$

$\alpha = 135^\circ \quad \delta r = \frac{2 ab}{d} \times 0,707$

Les valeurs particulières de la parallaxe pour ces valeurs de α sont donc proportionnelles aux nombres :

0,707 0,866 0,965 1 0,965 0,866 0,707

Méthode parallèle.

La parallaxe est constante pour tous les points d'un même plan de front. Elle est donnée par la formule $\delta p = \frac{2 ab}{d}$.

Méthode convergente.

Dans cette méthode la parallaxe, que nous désignerons par δc , est donnée par la formule :

$$\delta c = f [2 \operatorname{tg} \Delta + \operatorname{ctg} (\alpha + \Delta) - \operatorname{ctg} (\alpha' - \Delta)]$$

L'angle α variant de 45° à 135° les variations de la parallaxe sont résumées par le tableau suivant :

pour $\alpha = 45^\circ$ on a $\delta c = - 0,193 f$

$\alpha = 60^\circ \quad \delta c = - 0,071 f$

$\alpha = 75^\circ \quad \delta c = - 0,015 f$

$\alpha = 90^\circ$	$\delta c = 0$
$\alpha = 105^\circ$	$\delta c = -0,015 f$
$\alpha = 120^\circ$	$\delta c = -0,071 f$
$\alpha = 135^\circ$	$\delta c = -0,193 f$

En rapprochant dans leur plan les stéréographies obtenues d'une longueur égale à $\frac{f}{2}$ on a :

pour $\alpha = 45^\circ$ on a $\delta c = \frac{f}{2} \times 0,62$

$$\alpha = 60^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2} \times 0,86$$

$$\alpha = 75^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2} \times 0,965$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2}$$

$$\alpha = 105^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2} \times 0,965$$

$$\alpha = 120^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2} \times 0,86$$

$$\alpha = 135^\circ \quad \delta c = \frac{f}{2} \times 0,62$$

L'angle de champ des objectifs stéréoscopiques étant toujours sensiblement inférieur à 90° , on peut considérer comme identiques les variations que subit la parallaxe dans la méthode convergente et dans la méthode rationnelle.

Il convient de noter que cette identité suppose des objectifs à distance focale très courte. Avec les objectifs dont la distance focale serait 6 cm. et qui donneraient des clichés 4×4 , les épreuves seraient contiguës. Elles seraient donc observées en convergence.

Quand la distance focale des objectifs est plus grande que la longueur de la base visuelle de l'observateur, on doit rapprocher les stéréographies d'une longueur moindre que la moitié de cette distance focale. La parallaxe, dans les épreuves stéréoscopiques obtenues ainsi, varie bien dans le même sens que dans la méthode rationnelle, mais il n'y a plus identité des variations de l'une et de l'autre.

Toutefois, il y aurait encore identité entre les variations de

la parallaxe dans l'une et l'autre méthode si, dans le procédé des réseaux, le stéréogramme provenait de deux épreuves obtenues par la méthode convergente et avec un objectif dont la distance focale serait le double de la base visuelle de l'observateur. Nous reviendrons sur ce point (v. troisième partie).

Méthode divergente.

La parallaxe que nous désignerons par δd est donnée dans cette méthode par la formule :

$$\delta d = f [ctg (\alpha - \Delta) - ctg (\alpha + \Delta) - 2 tg \Delta]$$

La parallaxe diminue au lieu d'augmenter quand, dans un même plan de front, le point observé se rapproche du plan médian. Cette méthode est donc inexacte et doit être rejetée.

6. — *Conclusions.*

Deux méthodes, la méthode parallèle et la méthode convergente, méritent donc de retenir notre attention, car chacune d'elles s'inspire d'un principe différent pour résoudre le problème de la stéréoscopie.

Dans la première, les deux yeux de l'observateur sont fixés et les deux axes visuels, passant successivement par les conjugués de tous les points de l'espace représenté, doivent se rencontrer au point même où ils se rencontreraient dans l'observation directe. Il y a en somme reconstitution géométrique de l'espace observé.

Mais cette reconstitution n'est pas nécessaire.

Dans la fusion des images obtenues par la méthode des rotations et disposées pour le relief stéréoscopique, les axes visuels sont en effet divergents pour les conjugués de tous les points non situés dans le plan médian. D'ailleurs, il est inexact que, dans l'observation directe, les yeux de l'observateur soient immobiles.

La méthode convergente au contraire a moins pour effet d'obliger l'observateur à reconstituer géométriquement l'espace représenté que de l'obliger à répéter devant le stéréoscope les efforts de convergence qu'exigerait l'observation directe de cet espace. Elle est donc plus exacte que la méthode parallèle.

La méthode des rotations a montré d'autre part que les sen-

sations de relief n'étaient pas dues exclusivement aux phénomènes de convergence et qu'un autre facteur, l'inégalité des images rétiniennes de l'objet observé, jouait un rôle important dans ces phénomènes. Il convient en outre de remarquer que, dans la méthode convergente, cette inégalité d'images imprime à la parallaxe des variations qui contribueraient à rendre cette méthode plus sensible que la méthode parallèle, si même les phénomènes de convergence étaient les seuls facteurs du relief. Pour tout objet convexe ou concave en effet, les conjugués de chacun de ses points ont une parallaxe d'autant plus grande ou plus petite que ces points sont plus voisins de l'axe optique des objectifs passant par le centre de symétrie de cet objet.

Que le relief soit dû exclusivement à la convergence des lignes visuelles, à l'inégalité des images rétiniennes ou à une action synthétique de ces deux facteurs, la supériorité de la méthode convergente comparée à la méthode parallèle subsiste tout entière.

B. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE DANS LES JUMELLES (fig. 40 et 41).

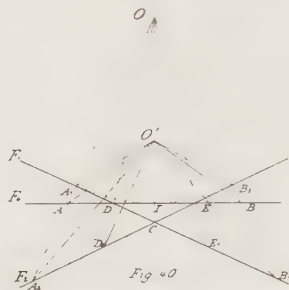
Nous étudierons trois types de jumelles caractérisés respectivement par la convergence, le parallélisme et la divergence des axes optiques de l'objectif. Les objectifs sont des lentilles convergentes et les oculaires des lentilles divergentes. La distance qui sépare ces derniers varie avec chacun des types étudiés pour le même observateur. Dans la jumelle construite par MM. Baille-Lemaire les axes optiques forment entre eux un angle de six degrés dont le sommet est en avant ou en arrière des objectifs selon que la jumelle est convergente ou divergente. Enfin dans chaque corps de la jumelle l'objectif et l'oculaire se trouvent sur une même parallèle au plan médian.

Nous prenons comme plan de figure le plan horizontal passant par les centres optiques des oculaires et des objectifs ; ceux-ci sont supposés mobiles autour d'un axe vertical passant par leurs centres optiques respectifs O et O' .

Pour une inclinaison Δ de l'axe optique soit à gauche soit à droite de OO' le plan focal de l'objectif gauche prend la direction A_1C ou B_2C (fig. 40). La circonférence décrite de O comme

centre et tangente à A_1C et à B_2C coupe OC en I . La tangente menée par ce point à cette circonférence coupe A_1C et B_2C en deux points D et E tels que les droites OD et OE sont bissectrices des angles A_1OC et B_2OC tous deux égaux à l'angle d'inclinaison Δ .

Soit F_1 , F et F_2 les plans verticaux menés par A_1C , DE et



B_2C . Ce sont les plans focaux de l'objectif gauche des jumelles convergente, parallèle et divergente.

Considérons des points de l'espace $ABCDE$ situés dans un même plan de front et dont les axes secondaires font respectivement avec OI les angles Δ , $\frac{\Delta}{2}$, 0 , $\frac{\Delta}{2}$ et Δ . Les images de ces points se font en $A_1DC E_1 B_1$ dans le plan F_1 , en $ADIEB$ dans le plan F et en $A_2 D_2 CEB_2$ dans le plan F_2 . Le centre optique de l'oculaire étant O' , les points considérés seront vus suivant les directions :

A_1O' , DO' , CO' , E_1O' , B_1O'

AO' , BO'

A_2O' , B_2O'

par l'œil gauche selon que la jumelle est convergente, parallèle ou divergente.

L'œil droit verrait ces mêmes points dans des directions identiques, mais les directions A_1O' , DO' ,... B_1O' correspondraient à la jumelle divergente et les directions A_2O' , DO' ,... B_2O' à la jumelle convergente.

Il est facile d'établir maintenant, pour chaque oculaire, les graphiques des variations de l'angle sous lequel serait vu successivement et dans chaque méthode un point M du plan ho-

horizontal, mobile dans un plan de front et déterminé par les angles α et α' que fait avec le plan médian l'axe secondaire de chaque objectif passant par ce point.

Nous porterons sur l'axe des x (fig. 41) à gauche et à droite

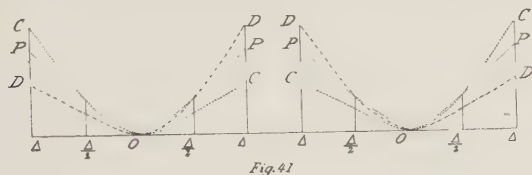


Fig. 41

du point d'origine O , distinct pour chaque corps de jumelles, des longueurs proportionnelles aux angles Δ et $\frac{\Delta}{2}$ et sur l'axe des y des longueurs proportionnelles aux angles sous lesquels sera vu le point mobile quand les angles α et α' prendront les valeurs particulières Δ , $\frac{\Delta}{2}$, 0 , $\frac{\Delta}{2}$ et Δ . Nous admettons que le point mobile est à une distance telle que les angles α et α' sont égaux. En reliant les points d'intersection des abscisses et des ordonnées correspondantes, on obtient les courbes CC , PP , DD qui indiquent les variations que subit l'angle sous lequel est vu successivement le point M .

Nous nous proposons d'étudier les modifications apportées à la parallaxe angulaire des point observés par l'emploi de la jumelle convergente et de la jumelle divergente.

Nous savons que cette parallaxe est donnée par la formule :

$$\Delta = \alpha + \beta$$

dans laquelle Δ représente la parallaxe angulaire du point observé, α et β respectivement les angles que fait avec le plan médian chacun des axes visuels passant par ce point. Les valeurs de α et de β sont positives ou négatives selon que les axes visuels coupent le plan médian en avant ou en arrière de l'observateur.

Dans ce qui suit nous faisons abstraction des points situés dans le plan médian de l'observateur.

Soit un point M suffisamment éloigné pour que les axes secondaires de ce point par rapport aux deux objectifs fassent un même angle α avec le plan médian. Ce point sera vu sous

les angles $\alpha_1, \alpha_0, \alpha_2$ par l'œil gauche et sous les angles α'_1, α'_0 et α'_2 par l'œil droit selon que la jumelle est convergente, parallèle ou divergente. Nous supposons le point M à droite de l'observateur. Les résultats acquis ainsi seront applicables, par raison de symétrie, au cas où le point M serait à gauche de l'observateur.

1. — Jumelle convergente.

Le point M étant à droite de l'observateur les angles α_1 et α_0 sont positifs et les angles α'_1, α'_0 négatifs.

Si $\Delta \geq \alpha \geq \frac{\Delta}{2}$, on a :

$$\alpha_1 > \alpha_0$$

et

$$\alpha'_1 > \alpha'_0$$

d'où

$$\alpha_1 + \alpha'_1 > \alpha_0 + \alpha'_0 (1).$$

Quand α est compris entre $\frac{\Delta}{2}$ et 0, on a :

$$\alpha_0 - \alpha_1 < \alpha'_1 - \alpha'_0$$

d'où

$$\alpha_1 + \alpha'_1 > \alpha_0 + \alpha'_0.$$

La parallaxe angulaire d'un point de l'espace observé avec la jumelle convergente est donc toujours supérieure à celle de ce même point observé avec la jumelle parallèle.

Mais cette parallaxe croît ou décroît selon que α augmente ou diminue alors que, dans l'observation directe, c'est l'inverse qui se produit.

La méthode convergente est donc à rejeter.

2. — Jumelle divergente.

Le point M étant encore à droite de l'observateur, les angles α_1 et α_0 sont encore positifs et les angles α'_1, α'_0 négatifs.

Si $\Delta \geq \alpha \geq \frac{\Delta}{2}$

on a $\alpha'_2 < \alpha'_0$

$$\alpha_2 < \alpha_0$$

d'où $\alpha_2 + \alpha'_2 < \alpha_0 + \alpha'_0$

Quand :

$$\frac{\Delta}{2} \geq \alpha \geq 0$$

on a

$$\alpha_0 - \alpha_2 > \alpha'_2 - \alpha'_0$$

d'où

$$\alpha_0 + \alpha'_0 > \alpha_2 + \alpha'_2.$$

La parallaxe angulaire d'un point de l'espace observé avec la jumelle divergente est donc toujours inférieure à celle de ce même point observé avec une jumelle parallèle. De plus, la différence entre les deux parallaxes étant d'autant plus faible que le point considéré est plus voisin du plan médian, cette parallaxe angulaire croît ou décroît selon que α diminue ou augmente. Les variations qu'elle subit sont analogues à celles de la parallaxe angulaire dans l'observation directe. La méthode divergente est donc rationnelle. Elle rend en outre plus sensible la perception du relief.

C. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE DANS L'APPAREIL VISUEL.

On admet généralement que l'axe antéro-postérieur de l'œil mesure 24 mm., que le rayon de courbure de la cornée transparente est de 8 mm. et que l'axe de rotation de l'œil se trouve à 14 mm. de la cornée et à 10 mm. en avant de la surface postérieure de la rétine. Au repos, le cristallin a 4 mm. d'épaisseur et sa face antérieure se trouve à 4 mm. en arrière de la cornée. Les rayons de courbure de ses faces antérieure et postérieure sont respectivement de 10 et de 6 mm. De plus, les axes optiques des cristallins sont divergents et font entre eux un angle de douze degrés environ. Quant aux deux points nodaux de l'œil, on peut les confondre en un seul point placé à 1 mm. en avant de la face postérieure du cristallin et à 7 mm. par conséquent du centre de rotation de l'œil.

Il résulte de l'inclinaison des cristallins que l'axe visuel, c'est-à-dire la droite menée par le centre optique du cristallin et la fovea centralis, ne passe pas par le centre de rotation de l'œil, mais se trouve à gauche ou à droite de ce centre selon que l'on considère l'œil gauche ou l'œil droit.

Soit O le centre de rotation de l'œil (fig. 42), c son centre optique et f la *fovea centralis*. La ligne visuelle d'un point A



Fig 42

de l'espace sera tangente à une sphère ayant pour centre le point O et pour rayon Om .

On a :

$$\begin{aligned} Om &= OC \times \sin 6^\circ. \\ &= 0 \text{ mm. } 7. \end{aligned}$$

Ceci posé, supposons la ligne visuelle de l'œil gauche dans sa position primaire, c'est-à-dire parallèle au plan médian et prenons pour plan de figure le plan horizontal mené par le point nodal de l'œil.

Soient A et B (fig. 43) deux points de l'espace symétriques par rapport à cette ligne visuelle et I leur centre de symétrie. Les images rétinienne des points A , I , B se font en b , i , a .

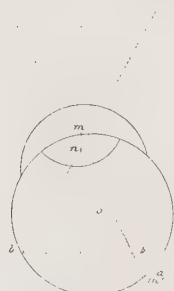
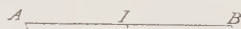


Fig 43

Or Ii est bissectrice des angles AnB et bmb' , b' étant le symétrique de b par rapport à cette bissectrice. Soit m' l'intersection de mb' avec la circonférence. On a : $bi = m'i$.

D'où :

$$ai > ib$$

De la démonstration précédente résulte nécessairement la différence de hauteur des images rétiniennes quand les points A et B n'appartiennent pas au plan de figure.

En résumé, l'inclinaison du système optique de l'appareil visuel ou de l'appareil stéréoscopique de la méthode convergente a pour effet de placer à des distances angulaires différentes de chaque fovea les images rétiniennes d'un même point. Celles-ci ne peuvent donc être amenées sur chaque fovea que par un effort musculaire différent. Il en résulte que cette inclinaison rend les phénomènes de convergence plus précis et détermine une inégalité sensible entre les deux images rétiniennes du même objet. La plus grande image étant reçue par l'œil gauche ou par l'œil droit selon que cet objet se trouve à gauche ou à droite de l'observateur.

Les notions de distance et de relief deviennent donc plus précises.

D. — CONCLUSION

L'étude de l'inclinaison du système optique dans la perception directe ou indirecte du relief a mis en évidence un principe général qui paraît dominer la sensation du relief donné par la vision binoculaire.

Les images rétiniennes d'un même objet sont de grandeur différente et telles que l'unité de sensation n'est pas troublé.

Le relief est stéréoscopique lorsque, pour les objets ou portions d'objets placés à gauche ou à droite du plan médian de l'observateur, l'image la plus grande est reçue respectivement par l'œil gauche ou par l'œil droit. Le relief est pseudoscopique dans le cas contraire.

Cette loi ne souffre aucune exception. La disposition paradoxale des épreuves données par la méthode des rotations, l'inversion des images conjuguées données par les méthodes stéréoscopiques, les images rétiniennes fournies par le microscope binoculaire à un seul objectif et celles que donne l'observation directe sont autant de preuves de son exactitude.

Cette étude nous permet donc de distinguer deux facteurs stéréoscopiques essentiels et de montrer l'action de chacun d'eux. La notion de relief est due à l'inégalité de grandeur des

images rétinienne et au système d'ombres propres et portées de chacune d'elles. Mais c'est aux phénomènes de convergence accompagnés des variations du diamètre apparent que nous devons la notion de distance.

Il est évident d'ailleurs que, dans l'observation directe, c'est à une action synthétique de tous ces facteurs que nous devons, par l'expérience acquise, les notions de relief et de distance.

TROISIEME PARTIE

CONTRIBUTION A LA PHYSIOLOGIE DES PHÉNOMÈNES VISUELS

La troisième partie traitera successivement des phénomènes d'accommodation et de convergence, de la sensation du relief et de l'unité de sensation dans la vision binoculaire.

I. — DES PHÉNOMÈNES D'ACCOMMODATION ET DE CONVERGENCE.

Si les phénomènes d'accommodation ont une grande importance pour la vision des objets rapprochés, il n'en est plus de même quand la distance des objets dépasse une certaine limite. C'est ainsi que fermant l'œil gauche et plaçant un fil vertical F sur la ligne visuelle de l'œil droit menée par un point éloigné A, nous ne pouvons tout d'abord percevoir à la fois et nettement le point A et le fil F. Mais si nous nous éloignons progressivement, il vient un moment où le point et le fil sont vus nettement. Le fil est alors à une distance qui, variable avec l'observateur, ne paraît jamais dépasser une dizaine de mètres. Les modifications du cristallin qu'exige la perception nette des points situés au-delà de cette distance sont donc peu sensibles bien que réelles.

Mais dès que la vision devient binoculaire il y a impossibilité de percevoir à la fois et nettement le fil et le point ou, plus généralement, deux points placés à une distance différente de l'observateur. C'est que les points fixés ne sont perçus nettement que par un effort musculaire propre à chaque œil et nécessaire pour en amener les images sur chaque fovea. Ces mouvements combinés des deux yeux constituent les phénomènes de convergence qui, bien que s'accomplissant simultanément dans l'un et l'autre œil, sont en réalité indépendants l'un de l'autre. Aussi la vision monoculaire peut-

elle donner sans doute une idée suffisamment exacte de la distance des objets par l'effort musculaire nécessaire pour en amener l'image sur la fovea. Il doit en être ainsi chez les animaux où la disposition de l'appareil visuel rend impossible la formation de deux images rétinienne du même objet.

II. — DE LA SENSATION DU RELIEF.

Les sensations de relief peuvent être données par l'examen d'images uniques ou d'images conjuguées.

A. — IMAGES UNIQUES.

Lorsqu'il s'agit de peintures murales la sensation de relief peut s'expliquer par un choix heureux des couleurs employées. La sensation devient cependant beaucoup plus vive quand l'observation est monoculaire et se fait à l'aide d'un cylindre creux dont les bords masquent les limites du dessin.

Les expériences de M. le Professeur CHAUMONT démontrent également ce fait (voir p. 21). On sait d'ailleurs que deux épreuves identiques placées dans le stéréoscope donnent une idée suffisante du relief des objets et de leur distance.

Enfin, nous avons pu constater qu'une épreuve unique donnait au stéréoscope une sensation de relief. On peut même supprimer le stéréoscope et observer directement cette épreuve avec l'un des yeux. Il suffit de laisser à l'autre sa liberté mais en lui masquant l'épreuve avec la main placée dans le plan médian. L'effet est encore plus net si, comme précédemment, l'observation se fait avec un tube creux cachant les bords de l'image.

Les sensations obtenues s'expliquent facilement. La suppression de l'une des images rétinienne de l'objet observé permet aux axes visuels de converger au-delà de l'image. Les phénomènes de convergence ne s'opposent plus alors à l'interprétation des autres facteurs du relief. Les systèmes d'ombres propres et portées, les rapports que présentent entre elles les parties apparentes des objets représentés, la grandeur relative des uns et des autres permettent à l'observateur d'éprou-

ver les sensations de distance et de relief que donne la stéréoscopie ordinaire. Mais la suppression d'un facteur aussi important que la convergence rend évidemment les sensations moins parfaites et moins précises. Si, d'ailleurs, les autres facteurs étaient également supprimés, l'observateur n'éprouverait aucune de ces sensations. Il en serait ainsi de figures géométriques non déformées par la perspective.

B. — IMAGES CONJUGUÉES.

Nous rappellerons tout d'abord le principe d'après lequel les variations du relief sont dues entièrement aux phénomènes de convergence. Ayant défini ce que nous entendons par relief absolu et par relief relatif, nous montrerons les relations qui existent entre la distance réelle ou apparente d'un objet et son relief relatif. Nous traiterons ensuite du relief donné par les méthodes stéréoscopiques ayant pour but l'observation des objets eux-mêmes ou de de leurs stéréographies.

a) Du relief absolu et du relief relatif.

L'observateur dont les axes visuels sont parallèles au plan médian doit, pour percevoir un point A de ce plan, faire un effort de convergence sensiblement proportionnel à la parallaxe de ce point. Il peut acquérir ainsi, par l'éducation, une notion plus ou moins précise de la distance du point A.

Il pourra de même déterminer la distance d'un autre point B de ce même plan. La différence de l'effort de convergence nécessaire pour passer du point A au point B, proportionnelle d'ailleurs à la différence des parallaxes de ces points, le renseignera sur la distance qui sépare le point A du point B. Si les points A et B appartiennent tous deux à un même objet, que le point B en soit le point le plus rapproché et A le point visible le plus éloigné, l'observateur aura une notion du relief de cet objet. Prenons comme unité, pour mesurer cette différence d'efforts de convergence, celle que nécessite l'observation successive de deux points du plan médian dont la différence des parallaxes est égale à l'unité d'angle. Le nombre qui mesure cette différence d'efforts de convergence est le

même que celui qui mesure la différence des parallaxes des points A et B.

Donc, la différence des parallaxes des points A et B étant Δ , le relief de l'objet auquel appartiennent ces points est Δ .

Le nombre Δ sera, par définition, le relief absolu de cet objet.

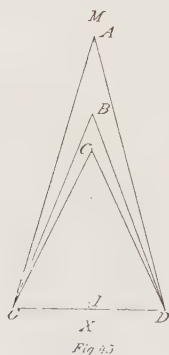
Rendre la parallaxe des points de l'objet observé n fois plus grande ou n fois plus petite, c'est rendre le relief absolu de cet objet n fois plus grand ou n fois plus petit.

L'observateur, pour passer du point A au point B, devra faire en effet un effort de convergence égal à celui qui serait nécessaire, dans l'observation directe, pour passer d'un point A' à un point B' dont la distance serait n fois plus grande ou n fois plus petite que celle qui sépare les points A et B.

Nous allons montrer que la notion de relief absolu est insuffisante pour donner une idée précise du relief des objets.

Supposons (fig. 45) un observateur dont les yeux soient en GD et le plan médian en MX. Considérons dans ce dernier plan trois points A, B, C tels que BD et BG soient respectivement les bissectrices des angles CDA et CGA.

Supposons de plus que B et C d'une part, A et C d'autre part, appartiennent à deux objets dont le point C serait le plus



rapproché, et B ou A le point visible le plus éloigné. La différence des parallaxes de B et de C étant δ , celle de A et de C sera 2δ . Le relief absolu du second objet est donc deux fois plus grand que celui du premier.

Or, on conçoit que les deux objets considérés puissent être

à des échelles différentes deux reproductions d'un même sujet : le relief absolu ne nous donne donc aucune indication précise sur le relief exact des objets observés.

Le relief d'un objet est par contre nettement caractérisé, pour une distance donnée, par le rapport qui existe entre son relief absolu et son diamètre apparent. Ce rapport sera, par définition, le relief relatif de l'objet.

Ainsi dans l'exemple précédent, le diamètre apparent des corps observés étant respectivement β_1 et β_2 , leur relief relatif sera $\frac{\delta}{\beta_1}$ pour le premier et $\frac{2\delta}{\beta_2}$ pour le second.

Or les bissectrices GB et DB donnent :

$$\frac{BC}{AB} = \frac{CG}{AG}$$

et CG étant sensiblement égal à AG, on a :

$$AB = BC$$

Chacun des objets étant d'ailleurs la représentation à une échelle différente du même sujet, on a :

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{BC}{AC} = \frac{1}{2}$$

d'où finalement :

$$\frac{\delta}{\beta_1} = \frac{2\delta}{\beta_2}$$

Les objets considérés, placés à la même distance de l'observateur, ont donc même relief relatif.

b) De l'influence de la distance d'un objet sur son relief relatif.

Nous avons dans ce qui précède supposé les objets placés à la même distance de l'observateur.

Nous nous proposons maintenant de déterminer ce que devient le relief relatif d'un objet quand sa distance augmente ou diminue. Le microscope QUIDOR-NACHET a permis d'établir par des expériences précises, les principes nécessaires pour résoudre cette question.

Principe I.

Pour une même inclinaison de l'axe optique, le relief relatif

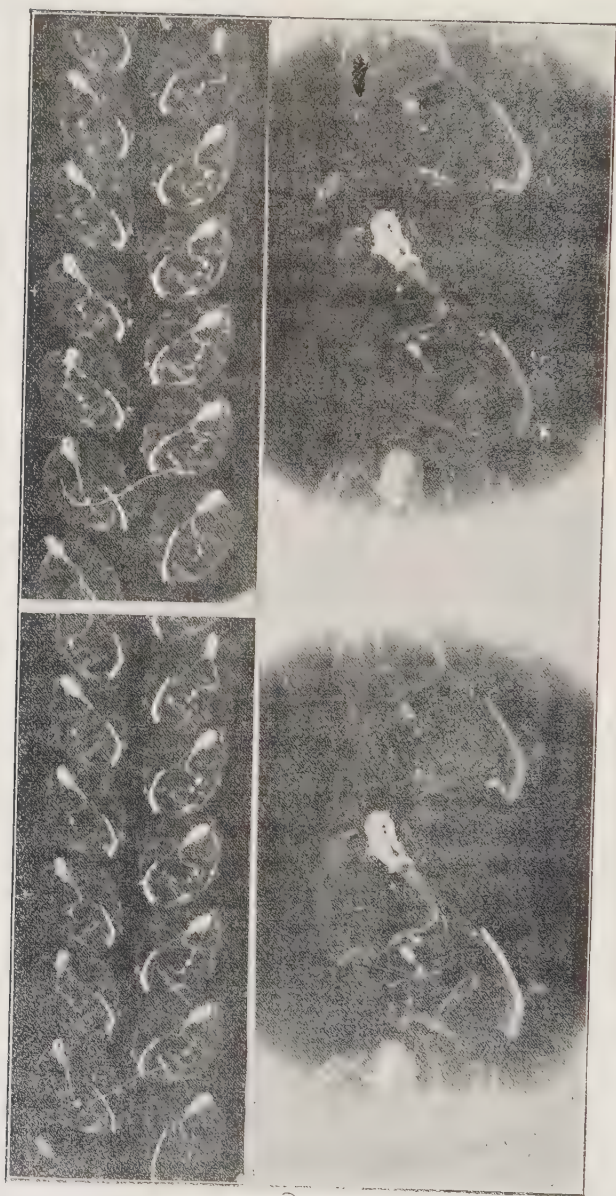


Fig. 44. — *Salpa democratica*, Chaîne de blastozoïtes. Préparation du D^r DE BEAUCHAMP. Montage sous lamelle, dans eau formolée après fixation à l'acide osmique. Clichés obtenus avec le microscope QUIDOR-NACHET. Inclinaison de l'axe optique 3°. Le grossissement exprimé en diamètres est 12 dans le cliché supérieur et 30 dans l'autre. La comparaison du blastozoïte marqué d'une croix dans le cliché supérieur et qui occupe le centre du cliché inférieur montre que le relief est identique dans les deux cas.

donné par les vues stéréoscopiques d'un même objet est indépendant du grossissement (fig. 44).

Les clichés stéréoscopiques (fig. 44) représentent le même objet aux grossissements 12 et 30. Leur examen démontre l'exactitude de ce principe.

Principe II.

Un objet étant photographié sous un angle d'inclinaison α_1 son relief relatif pour une nouvelle inclinaison α_2 est multiplié par la racine carrée du rapport du nouvel angle d'inclinaison au premier.

Soient δ_1 et δ_2 le relief relatif des stéréographies prises successivement sous les inclinaisons α_1 et α_2 de l'axe optique.

On a

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{\sqrt{\alpha_2}}{\sqrt{\alpha_1}}$$

Les clichés représentés (fig. 44 *bis*) ont été pris respectivement sous les angles d'inclinaison de 1 et de 4 degrés. Le relief relatif du premier est deux fois plus petit que celui du second. Ce principe a été d'ailleurs vérifié pour des inclinaisons de 1, 4, 9 et 16 degrés. La fusion des images qui est impossible ici pour une inclinaison de 25 degrés paraît dépendre à la fois de l'inclinaison et de la distance des objets. La relation précédente peut s'écrire

$$= \frac{\sqrt{2\alpha_2}}{\sqrt{2\alpha_1}}$$

Le relief relatif d'un objet est donc proportionnel à la racine carrée du rapport des angles que forment successivement les deux axes optiques du microscope. Cet angle sera par définition l'angle de convergence. L'expérience montre d'ailleurs que, dans l'observation directe, le relief relatif d'un objet dont l'axe de symétrie appartient au plan médian de l'observateur est également proportionnel à la racine carrée du rapport des angles de convergence successifs des axes visuels.

Principe III.

La distance de l'observateur à l'objet devenant 4, 9, 16 fois plus grande ou plus petite, le relief relatif de cet objet devient 2, 3, 4 fois plus petit ou plus grand.

Ce principe est une conséquence des deux précédents.

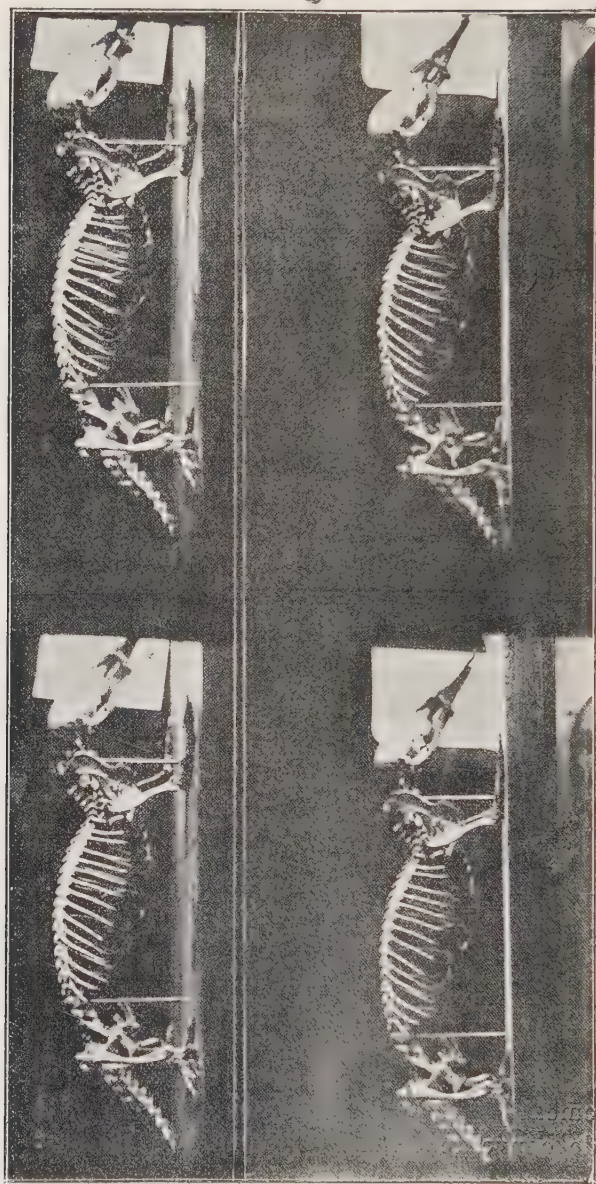
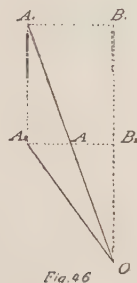


Fig. 44 bis. — *Ornithorhynchus paradoxus*. — Clichés obtenus avec le microscope QUIDOR-NACHET. Réduction 1/4.
 Le cliché supérieur a été obtenu en donnant une inclinaison de 1 degré à l'axe optique du microscope et le cliché inférieur avec une inclinaison de 4 degrés. Le relief relatif du second est deux fois plus grand que celui du premier. De plus le relief relatif du premier est sensiblement exact.

Lorsque l'observateur se déplace de A_1B_1 , en A_2B_2 (fig. 46) l'angle de convergence nécessaire pour voir l'objet en O passe de α_1 à α_2 et le relief relatif δ_1 de cet objet devient δ_2 .



Or d'après les principes I et II, le relief relatif de l'objet ne dépend que des valeurs de α_1 et de α_2 . On a donc :

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{\sqrt{\alpha_2}}{\sqrt{\alpha_1}}$$

Posant $OB_1 = d_1$ et $OB_2 = d_2$ et remarquant que

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

la formule précédente devient.

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2}}$$

c) De la détermination de la distance apparente ou réelle des objets.

Le relief relatif d'un objet dépend donc de sa distance.

Il importe par conséquent de préciser tout d'abord le rôle de la parallaxe et du diamètre apparent dans la détermination de la distance réelle ou apparente des objets.

1. — Rôle de la parallaxe.

La parallaxe 2α d'un point A du plan médian placé à une distance d d'un observateur dont la base visuelle est $2a$ est donnée par la formule

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{d}$$

Si la parallaxe devient n fois plus grande, on a sensiblement puisqu'il s'agit d'angles très petits :

$$\lg n\alpha = \frac{na}{d}$$

Or a étant invariable, la distance du point A paraît n fois plus petite.

Donc, la parallaxe d'un point devenant n fois plus grande ou plus petite, la distance de ce point paraît n fois plus petite ou n fois plus grande.

2. — Rôle du diamètre apparent.

Il est admis que nous jugeons du diamètre apparent d'un objet par la distance à laquelle nous le plaçons.

L'expérience de SMITH paraît à première vue favorable à cette opinion. Si, en effet, on observe à l'aide d'une loupe un pain à cacheter placé en son foyer, le pain à cacheter semble grandir quand on s'éloigne de la loupe. Or, le diamètre apparent du corps observé n'ayant pas varié, nous serions victimes d'une illusion due à ce que nous rapportons l'image rétinienne non pas à un objet placé à une distance infinie mais au pain à cacheter situé derrière la lentille (HELMHOLTZ). L'explication de ces faits paraît beaucoup plus simple. L'image rétinienne de l'objet est toujours encadrée par celle de la loupe et, lorsque nous nous éloignons de celle-ci, la première reste fixe tandis que la seconde diminue.

Dans le même ordre d'idées, HELMHOLTZ rappelle que, passant tout enfant devant la tour de l'église de la garnison à POTSDAM, il avait demandé à sa mère de lui donner les gens qu'il voyait sur la plate-forme et qu'il prenait pour des poupées. HELMHOLTZ aurait donc jugé de la grandeur des objets d'après la distance à laquelle il les plaçait.

Mais l'erreur commise est analogue à celle que nous faisons dans la montagne quand nous prenons les sapins pour des bruyères : les distances paraissent beaucoup plus petites qu'elles ne le sont réellement. Dans l'un et l'autre cas l'erreur faite résulte d'une détermination inexacte de l'objet.

Si HELMHOLTZ avait été au sommet de la tour, il aurait demandé à sa mère non pas de lui donner les « poupées » mais bien « pourquoi les gens et les voitures étaient si petits ».

Nous admettons donc qu'on peut indifféremment juger de la distance d'un objet par l'effort de convergence que nécessite son observation ou par les variations de son diamètre apparent.

Ceci posé, considérons un objet dont la hauteur soit h et la distance d . Son diamètre apparent β sera donné par la formule :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{d}$$

Si la distance de l'observateur devient n fois plus grande, son diamètre apparent β' est donnée par la formule :

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{h}{nd}$$

Les angles β et β' étant très petits on a :

$$\beta' = \frac{\beta}{n}$$

Le diamètre apparent d'un objet devient donc n fois plus grand ou n fois plus petit quand la distance de cet objet devient n fois plus petite ou n fois plus grande.

Il convient de noter que si, sous l'influence des phénomènes de convergence la distance d'un objet restant fixe tandis que sa distance apparente devient n fois plus petite ou n fois plus grande, le diamètre apparent de cet objet paraît devenir n fois plus petit ou n fois plus grand. Ces phénomènes sont d'ordre subjectif et ne se présentent jamais dans l'observation directe et normale. L'expérience de WHEATSTONE (V. 1^{re} partie, p. 38) les met en évidence et nous en avons d'ailleurs un exemple remarquable dans le téléstéroscope.

d) Du relief donné par les méthodes stéréoscopiques.

Les méthodes stéréoscopiques permettent l'observation des objets eux-mêmes : jumelles, téléstélescopes, jumelles téléstéréoscopiques ou leur représentation : procédés stéréographiques.

Qu'il s'agisse de l'observation des objets ou de leur représentation, deux cas se présentent selon que les variations de la parallaxe sont ou ne sont pas accompagnées des variations du diamètre apparent.

I. — Du relief relatif dans l'observation des objets.

L'observation des objets se fait directement ou à l'aide de la jumelle, du téléstéréoscope ou de la jumelle téléstéréoscopique.

Le relief relatif sera, dans tous les cas, le rapport $\frac{\delta}{\beta}$ du relief absolu de ce corps à son diamètre apparent.

Mais il convient de comparer le relief relatif donné par les instruments à celui que donnerait l'observation directe des objets placés à la distance à laquelle croit les voir l'observateur. A cette condition seule on pourra juger de l'influence de chaque instrument sur la sensation du relief.

1. — Téléstéréoscope.

On a vu que cet instrument ne modifiait pas le diamètre apparent des objets, mais que par contre la parallaxe angulaire de chacun des points de l'espace observé était multipliée par le rapport $\frac{B}{b}$ de la base visuelle de l'instrument à celle de l'observateur.

Considérons en effet (fig. 47) deux points de l'espace A et B situés sur une même perpendiculaire à la base visuelle ; on sait qu'il existe sur le prolongement de celle-ci deux points T₁

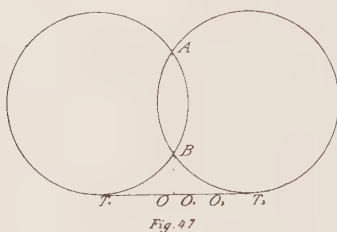


Fig. 47

et T₂ pour lesquels la droite AB est vue sous un angle maximum. Cette droite est vue sous un angle nul du point de rencontre O de la base visuelle avec le prolongement de AB.

Soit O₁ O₂ la base visuelle du téléstéréoscope, supposons O₁ fixe tandis que O₂ s'éloigne de O₁ pour se rapprocher de T₂. L'angle BO₁A est fixe tandis que l'angle BO₂A devient sensiblement n fois plus grand ou n fois plus petit quand la distance O₁ O₂ devient n fois plus grande ou n fois plus petite.

Remarquons d'ailleurs que A et B étant toujours dans le

champ de l'instrument, la base visuelle de celui-ci reste toujours comprise entre O_1 et T_1 ou entre O_2 et T_2 .

La parallaxe devenant n fois plus grande, le relief absolu Δ devient $n\Delta$ et le diamètre apparent n'étant pas modifié, le relief relatif des objets vus avec le téléstéréoscope est $\frac{n\Delta}{\beta}$.

Or, par suite de l'augmentation de la parallaxe la distance d de l'objet paraît n fois plus petite. A cette distance, dans l'observation directe, le relief relatif serait $\frac{\Delta\sqrt{n}}{\beta}$.

L'emploi du téléstéréoscope augmente donc le relief relatif des objets. Ce relief se trouve multiplié par la racine carrée du rapport de la base visuelle de l'instrument à celle de l'observateur.

2. — Jumelle.

Nous avons vu, dans la première partie, que la parallaxe de tous les points de l'espace observé avec une jumelle de grossissement n devenait n fois plus grande et qu'on admettait que le relief était devenu n fois plus grand.

Mais l'expérience montre, qu'en réalité, le relief des objets observés avec la jumelle est sensiblement réduit.

Or, la parallaxe et le diamètre apparent des objets étant multipliés tous deux par le grossissement de la jumelle, leur relief relatif est encore donné par le rapport $\frac{\Delta}{\beta}$ dans lequel Δ représente le relief absolu de ces objets et β leur diamètre apparent.

Mais l'observateur juge de la distance des objets observés par les variations de leur diamètre apparent. Celui-ci étant devenu n fois plus grand, la distance paraît n fois plus petite. Le relief relatif de ce même objet serait donc, dans l'observation directe $\frac{\Delta\sqrt{n}}{\beta}$.

Le relief relatif des objets observés avec la jumelle est donc divisé par la racine carrée du grossissement de cette jumelle.

Inversement, si, dans la jumelle, l'objectif fonctionne comme oculaire et l'oculaire comme objectif, le relief relatif est multiplié par la racine carrée du grossissement de cette jumelle.

3. — *Jumelle téléstéréoscopique.*

Considérons une jumelle téléstéréoscopique dont la base visuelle soit p fois plus grande que celle de l'observateur et dont la distance focale des objectifs soit n fois plus grande que celle des oculaires.

Le relief relatif d'un objet vu à l'œil nu étant $\frac{\Delta}{\beta}$ son relief absolu devient par l'emploi de la jumelle téléstéréoscopique $np \Delta$ et son diamètre apparent $n\beta$. Le relief relatif de cet objet devient donc $\frac{\Delta}{\beta} \times p$.

Mais la distance de l'objet paraît à l'observateur np fois plus petite. Or, à cette distance, dans l'observation directe, le relief relatif serait $\frac{\Delta \sqrt{np}}{\beta}$.

Le relief relatif des objets vus avec une jumelle téléstéréoscopique est donc divisé par la racine carrée du grossissement de la jumelle et multiplié par la racine carrée du rapport de la base visuelle de l'instrument à celle de l'observateur.

Le relief relatif ne serait donc pas modifié si, dans ces instruments, n et p avaient la même valeur numérique.

Mais n est toujours supérieur à p et les objets vus avec le téléstéréoscope paraissent toujours aplatis.

II. — Du relief relatif dans l'examen des images conjuguées.

Les procédés d'observation peuvent modifier, soit la parallaxe angulaire ou la parallaxe linéaire des points de l'espace représenté, soit simplement la distance qui sépare les stéréographies de l'observateur.

1. — *Modifications de la parallaxe.*

a. — Modifications de la parallaxe angulaire.

L'expérience de WHEATSTONE citée dans la première partie (v. p. 38) montre que l'augmentation ou la diminution de la parallaxe angulaire par l'inclinaison variable des miroirs sem-

ble rapprocher et rapetisser les objets dans le premier cas, les éloigner et les agrandir. dans le second.

Or, la parallaxe angulaire devenant n fois plus grande, le relief absolu Δ de l'objet représenté est n fois plus grand et le diamètre apparent n'ayant pas varié, le relief relatif devient

$$\frac{n \Delta}{\beta}.$$

D'ailleurs, les objets représentés dont la distance primitive était d , paraissent rapprochés et placés à une distance $\frac{d}{n}$. Leur relief relatif serait donc, dans l'observation directe $\frac{\Delta \sqrt{n}}{\beta}$.

Le relief relatif des objets est donc augmenté ou diminué dans l'expérience de WHEATSTONE selon que la parallaxe angulaire de chacun des points observés devient n fois plus grande ou n fois plus petite. Comme pour le téléstéréoscope, le relief relatif est multiplié ou divisé par la racine carrée du nombre par lequel est multiplié ou divisé la parallaxe.

β . — *Modifications de la parallaxe linéaire.*

Les images conjuguées sont observées juxtaposées ou superposées. Dans l'un et l'autre cas les parallaxes de tous les points sont augmentées ou diminuées d'une même longueur.

1. — *Les images conjuguées sont juxtaposées.*

La parallaxe de tous les points de l'espace représenté est augmentée ou diminuée selon que les images conjuguées sont rapprochées ou éloignées l'une de l'autre.

Nous avons vu dans la première partie que le relief était augmenté dans le premier cas et qu'il devenait perspectif (voir p. 19). Il était au contraire diminué dans le second.

Mais il paraît difficile d'admettre la possibilité d'augmenter le relief en le rendant perspectif.

Supposons les yeux d'un observateur en GD (fig. 48) et considérons dans le plan de figure trois points A, B, C, placés dans un plan vertical mené parallèlement au plan méridien de l'observateur et passant par son œil droit. Soit T le plan du tableau et p_1, p_2, p_3 , les parallaxes linéaires respectives des points A, B, C et telles qu'on ait entre les parallaxes angulaires $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ de ces points les relations :

$$\alpha_1 = 2 \alpha_2 = 4 \alpha_3.$$

Dans ces conditions le point B se trouve à égale distance des points A et C. On a en effet sensiblement

$$4 AD = 2 BD = CD.$$

Augmentons chaque parallaxe linéaire d'une longueur l et

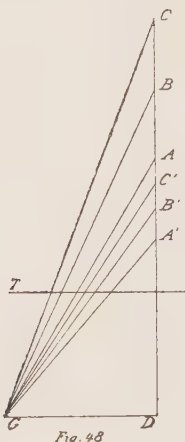


Fig. 48

soit $\alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3$ les nouvelles parallaxes angulaires des points considérés qui pour l'observateur paraissent se trouver en A', B', C' .

Les parallaxes angulaires sont des angles suffisamment petits pour qu'on ait sensiblement :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha'_1} = \frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha'_1} = \frac{p_1}{p_1 + l}$$

d'où

$$\alpha'_1 = \alpha_1 \left(1 + \frac{l}{p_1} \right)$$

On aurait de même

$$\alpha'_2 = \alpha_2 \left(1 + \frac{l}{p_2} \right)$$

et

$$\alpha'_3 = \alpha_3 \left(1 + \frac{l}{p_3} \right)$$

d'où on tire :

$$2\alpha'_2 - \alpha'_1 = \frac{2l\alpha_2(p_1 - p_2)}{p_1 p_2}$$

$$2\alpha'_3 - \alpha'_2 = \frac{2l\alpha_3(p_2 - p_3)}{p_2 p_3}$$

or on a

$$p_1 > p_2$$

$$p_2 > p_3$$

$$\text{d'où } \alpha'_1 < 2\alpha'_2$$

$$\text{et } \alpha'_2 < 2\alpha'_3$$

ce qui donne l'inégalité :

$$4\alpha'_3 - \alpha'_1 > 2(2\alpha'_3 - \alpha'_2)$$

Le point B' paraît donc plus voisin de A' et le point C' plus voisin de B' qu'ils ne le sont réellement. Le point B' paraît en outre plus voisin du point C' que du point A'.

L'augmentation de la parallaxe des points A, B, C a donc pour effet de diminuer leur distance apparente et de les rapprocher les uns des autres. Cette action est d'ailleurs d'autant plus énergique que la distance des points considérés est plus grande.

Il en résulte qu'augmenter la parallaxe sans modifier le diamètre apparent, c'est diminuer le relief absolu des objets considérés et par conséquent leur relief relatif.

Le relief relatif obtenu par l'augmentation de la parallaxe sera dit relief perspectif et condensé.

Il convient donc d'éviter le relief perspectif et condensé que donnerait la méthode convergente (voir 2^e partie, p. 58) dans le cas où les images conjuguées seraient rapprochées d'une longueur égale à la moitié de la distance focale de l'objectif. Les épreuves seront rapprochées simplement d'une longueur égale à $f \tan 6^\circ$, soit du dixième de la distance focale de l'objectif. On s'éloigne ainsi, il est vrai, quelque peu de la méthode stéréoscopique rationnelle, mais la méthode convergente conserve encore cependant une supériorité très nette sur la méthode stéréoscopique ordinaire.

2. — *Les images conjuguées sont superposées.*

Dans les procédés stéréographiques de ROLLMANN et d'AL-

MEIDA comme dans celui des réseaux, la superposition des images conjuguées revient à les rapprocher l'une de l'autre d'une longueur égale à celle de la base visuelle de l'observateur. La parallaxe de tous les points se trouve donc augmentée de $2a$, longueur de la base visuelle. En particulier la parallaxe des points de l'espace situés à une distance infinie devient $2a$. Il en résulte que ces points paraissent appartenir au plan de la plaque ou de l'écran et que les autres points, au contraire, seront en avant de l'une ou de l'autre et d'autant plus que leur parallaxe sera plus grande.

Considérons, pour préciser les idées, un point M_1 (fig. 49)

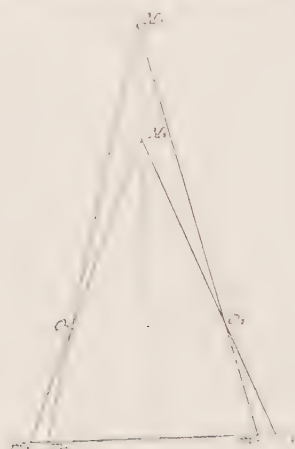


Fig. 49

situé à l'infini (ce point a été représenté pour faciliter la lecture) et un point M_2 aussi rapproché que possible des objectifs O_1 et O_2 . Les images conjuguées m_1 et m_2 du premier seront à une distance $2a$ l'une de l'autre et celles du second se feront en m'_1 et m'_2 .

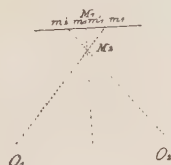
Au stéréoscope (fig. 50), les images de M_1 et de M_2 seront



Fig. 50

vues en m_1 et m'_1 et m_2 et m'_2 . Dans les procédés de ROLLMANN,

d'ALMEIDA et dans celui des réseaux, les images m_1 m'_1 seront confondues et le point M_1 paraîtra se trouver dans le plan de la plaque ou de l'écran. Les images m'_2 et m_2 seront placées



respectivement à gauche et à droite de M_1 (fig. 51). Le point M_2 paraîtra donc en avant de la plaque ou de l'écran.

Le relief obtenu sera donc perspectif et condensé. Il convient donc, pour en éviter autant que possible les inconvénients, d'augmenter la distance qui sépare les points résultants M_1 et M_2 et par suite d'augmenter la parallaxe. On superposera donc les stéréographies obtenues avec un appareil photographique dont l'écartement des objectifs sera aussi grand que possible et sensiblement égal au dixième de la distance de l'objet représenté.

Le procédé des réseaux paraît donc trouver dans la projection stéréoscopique d'objets placés à une distance finie de l'observateur une application intéressante et susceptible de rendre de grands services dans l'enseignement.

2. — Influence de la distance des stéréographies sur le relief relatif des objets ou de l'espace représenté.

Deux cas se présentent selon qu'il s'agit de la représentation d'un objet ou de l'espace. La profondeur du premier est limitée, celle du second ne l'est pas.

a. Représentation d'un objet (fig. 52).

Soient A_1 , B_1 les points extrêmes de l'objet par rapport à l'observateur. Le premier étant le plus rapproché de celui-ci et le dernier le plus éloigné. Les yeux de l'observateur sont en OO' et on suppose que les points A^1 et B appartiennent au plan de figure et soient situés tous deux sur la ligne visuelle de l'œil gauche parallèle au plan médian.

Le tableau étant en T_1 , les parallaxes des points considérés seront $a_1 p_1$ et $b_1 p_1$. Le relief absolu Δ de l'objet sera l'angle

$A_1 O' B_1$. Son relief relatif étant δ et son relief apparent β on

$$a \delta = \frac{\Delta}{\beta}$$

L'objet considéré étant photographié avec un appareil dont la distance de la plaque sensible aux objectifs est égale à celle qui sépare le tableau de l'observateur, on peut remplacer le tableau T_1 par les stéréographies obtenues, mais en les inversant (V. p. 11).

Supposons que la distance nd des stéréographies à l'obser-

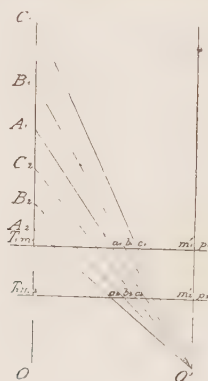


Fig 52

vateur devienne n fois plus petite. L'observateur voit alors l'objet en $A_2 B_2$ et le relief absolu de ce dernier est mesuré par l'angle $A_2 O' B_2$.

Or on a

$$\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{a_1 p_1 - b_1 p_1}{nd} = \frac{a_1 b_1}{nd}$$

et

$$\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{a_1 p_1 - b_1 p_1}{d} = \frac{a_1 b_1}{d}$$

Les angles α_1 et β_1 étant suffisamment petits on a sensiblement :

$$\alpha_2 - \beta_2 = n (\alpha_1 - \beta_1)$$

ou

$$\Delta_2 = n \Delta_1$$

Le relief absolu est donc devenu n fois plus grand. Le diamètre apparent de l'objet étant devenu lui-même n fois plus grand, le relief relatif n'a pas varié. Or, dans l'observation directe il serait multiplié par $\sqrt{n}$. Rapprocher les stéréographies

de l'observateur a donc pour effet de diminuer le relief relatif des objets observés.

β. — *Représentation de l'espace* (fig. 52).

Considérons trois points de l'espace A_1 , B_1 , C_1 appartenant comme précédemment au plan de figure et situés sur la ligne visuelle de l'œil gauche supposée parallèle au plan médian.

Le tableau T_1 peut être remplacé par des stéréographies telles que les axes visuels de l'observateur convergent respectivement en $A_1B_1C_1$.

Nous supposons que la droite $O'B_1$, soit bissectrice de l'angle $A_1O'C_1$. On a en désignant par $\alpha_1 \beta_1 \lambda_1$ les angles de convergence respectifs des points A_1 , B_1 et C_1 .

$$\frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} = \frac{A_1 O'}{C_1 O'} = \frac{\sin \lambda_1}{\sin \alpha_1}$$

La distance nd des stéréographies observées devenant d , on aurait de même, si la droite $O'B_2$ était bissectrice de l'angle $A_2O'C_2$.

$$\frac{A_2 B_2}{B_2 C_2} = \frac{A_2 O'}{C_2 O'} = \frac{\sin \lambda_2}{\sin \alpha_2}$$

En posant $a_1 p_1 = a$

et $b_1 p_1 = b$

le calcul donne :

$$\left(\frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} \right)^2 - \left(\frac{A_2 B_2}{B_2 C_2} \right)^2 = \frac{a^2 b^2 d^2 (a^2 - b^2) (1 - n^2)}{(a^2 b^2 + a^2 n^2 d^2) (a^2 b^2 + a^2 d^2)}$$

Si donc on a $n > 1$, il vient :

$$\frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} < \frac{A_2 B_2}{B_2 C_2}$$

Pour $n < 1$ on aurait

$$\frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} > \frac{A_2 B_2}{B_2 C_2}$$

Il en résulte que le point B paraît plus près ou plus loin du point C qu'il ne l'est réellement selon que les stéréogrammes se rapprochent ou s'éloignent de l'observateur.

Le relief relatif des objets représentés augmente ou diminue

donc selon que la distance des stéréographies à l'observateur devient plus grande ou plus petite. Cette variation du relief relatif est d'ailleurs inégale. Elle est d'autant plus sensible que les objets sont plus près de l'observateur dans le premier cas et plus éloignés dans le second.

III. — Du relief relatif des stéréogrammes obtenus par le microscope Quidor-Nachet.

L'inclinaison qu'il convient de donner à l'axe optique de ce microscope pour obtenir un relief relatif sensiblement exact a été déterminé expérimentalement. Cet angle est de 1° pour les objets macroscopiques et de $1^\circ 30'$ environ pour les objets microscopiques. Mais il peut y avoir intérêt ou nécessité d'augmenter ou de diminuer le relief relatif de l'objet photographié. Le tableau suivant donne les variations du relief relatif exact correspondant aux variations de l'angle d'inclinaison α .

Valeurs de α	Coefficient de δ	
	objets macroscopiques	objets microscopiques
$0^\circ 30'$	0, 70	0, 57
1°	1	0, 80
$1^\circ 30'$	1, 22	1
2°	1, 41	1, 15
3°	1, 73	1, 41
4°	2	1, 63
5°	2, 23	1, 82
6°	2, 45	2
7°	2, 64	2, 16
8°	2, 83	2, 31
9°	3	2, 45
10°	3, 16	2, 60

Il convient d'ajouter que ces nombres ne sont donnés qu'à titre d'indication.

Quand l'inclinaison devient égale ou supérieure à sept degrés, les différentes parties de l'objet photographié et susceptibles d'être fusionnées par l'observateur paraissent indépendantes de l'objet lui-même. Ce phénomène est très net avec les objets convexes. Il existe donc pour chaque objet un angle d'inclinaison maximum.

Conclusion.

La notion de relief relatif et l'étude des variations qu'éprouve celui-ci sous l'influence des variations de distance nous ont permis de préciser le rôle de la jumelle, du téléstéréoscope et de la jumelle téléstéréoscopique dans la perception des sensations de relief. Elles nous ont amené à modifier profondément une théorie contredite par les faits qu'elle prétendait expliquer et à préciser les variations subies par le relief relatif des objets représentés quand l'écartement ou la distance des images conjuguées était modifié.

Toutefois nous ferons quelques réserves sur les modifications apportées au relief relatif des objets par les variations de la distance qui sépare leur stéréogramme de l'observateur et cela, bien que nous soyons d'accord sur ce point avec Helmholtz et que notre étude nous paraisse théoriquement exacte.

Considérons en effet dans le plan de figure (fig. 52) et sur l'axe visuel de l'œil gauche supposé parallèle au plan médian deux points de l'espace A et M dont le premier soit le point le plus rapproché de l'observateur et dont le second soit à l'infini. Les images conjuguées de ces points seront en m_1 , a_1 pour le premier et en m_1 , m'_1 pour le second. L'observateur verra le point A en A_2 et le point M à l'infini. Si le stéréogramme vient en T_2 les images conjuguées des points A et M seront respectivement m_2 , a_2 et m_2 , m'_2 . L'observateur verra le point A en A_2 et le point M à l'infini. Il paraît donc difficile d'admettre que le relief relatif des objets diminue quand la distance du stéréogramme à l'observateur devient plus petite.

Si d'ailleurs on considère que le relief relatif d'un objet (V. p. 79) représenté par le microscope QUIDOR-NACHET ne dépend que de la valeur de l'angle de convergence des axes optiques, on peut attribuer la sensation du relief à la synthèse psychique des deux images rétiniennes fournies par l'examen stéréoscopique des images conjuguées.

Il ne saurait en être autrement dans la perception du relief au moyen du stéréoscope mobile de DROUIN. Ici, en effet, les deux images conjuguées sont placées sur les faces opposées d'un carton rectangulaire mobile dont l'axe de rotation coïn-

cide avec l'axe horizontal de chacune des vues. De plus, ce carton est fixé dans un cylindre ayant même axe de rotation et qui porte en face de chaque vue une petite fente horizontale placée de telle sorte que, pendant la rotation, chacun des yeux perçoit seulement l'image qui lui est destinée. La sensation de relief est très nette.

Il ne faudrait pas cependant méconnaître d'une manière absolue le rôle que joue la parallaxe dans l'examen de ces images. Il suffit en effet, pour constater l'influence de celle-ci, d'observer successivement avec la vision monoculaire et binoculaire un stéréogramme quelconque au stéréoscope. La grandeur des objets paraît augmenter légèrement quand on passe de la première à la seconde. Le diamètre apparent de l'image n'ayant pas varié, l'objet paraît plus grand parce que, sous l'influence des phénomènes de convergence, l'objet paraît plus éloigné.

D'ailleurs, l'examen des images conjuguées superposées, en permettant de constater l'aplatissement des objets représentés, montre que la parallaxe joue parfois dans ces phénomènes un rôle important.

La sensation de relief que donne au stéréoscope l'examen des images conjuguées d'un même objet dépend donc à la fois de la synthèse psychique des images rétinienne perçues par l'observateur et des phénomènes de convergence. L'influence du premier facteur est généralement de beaucoup supérieure à celle du second.

Il en est ainsi dans l'observation directe des objets. Les conclusions qui terminent la seconde partie de notre travail se trouvent donc confirmées et précisées. Les sensations de relief sont dues essentiellement à la synthèse psychique de deux images rétinienne différentes, mais elles dépendent aussi de la distance apparente ou réelle des objets et par conséquent des phénomènes de convergence. Il y a synthèse psychique non seulement des images rétinienne des objets, mais encore des sensations fournies par les variations de leur relief absolu et de leur diamètre apparent. Elles sont donc à la fois objectives et subjectives.

III. — DE L'UNITÉ DE SENSATION DANS LA VISION BINOCULAIRE

Après avoir critiqué la méthode des projections et repris les expériences favorables ou contraires aux théories exposées dans la première partie, nous établirons par quelques expériences précises les principes auxquels nous paraît soumise l'unité de sensation dans la vision binoculaire.

A. — CRITIQUE DE LA THÉORIE DES PROJECTIONS.

Si nous fusionnons les images rétinienne d'un point A de l'espace, c'est, dit la théorie des projections, que le point A est vu par l'un et l'autre œil dans la même direction.

Or, nous fusionnons cependant les images d'un point A quand les axes visuels menés par ce point sont divergents. Ce qui résulte des expériences faites avec la jumelle divergente.

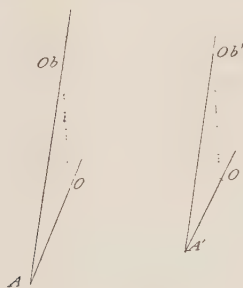


Fig. 53

La figure 53 montre la marche des rayons dans cette expérience. Un même point A est vu par l'œil gauche suivant la direction OA et par l'œil droit suivant la direction O'A'.

L'expérience acquise ne saurait ici expliquer la fusion des images rétinienne du point observé.

Il en est de même si nous considérons les stéréoscopies données par la méthode des rotations. Nous obtenons en effet la fusion des images conjuguées *ad ag* (fig. 32) bien que les axes visuels passant par ces points ne se rencontrent pas.

B. — EXPÉRIENCES INVOQUÉES EN FAVEUR DE LA
THÉORIE DU DOCTEUR JAVAL.

Cette théorie a été exposée dans la première partie (V. p. 42). Elle repose sur l'antagonisme des champs visuels et sur les mouvements oculaires. Sans mettre en doute l'antagonisme des champs visuels lorsque les objets observés simultanément par l'un et l'autre œil sont nettement différents, il est permis cependant d'observer que, même dans ce cas, nous pouvons, par un effort de volonté, percevoir à peu près exclusivement l'une ou l'autre des deux images rétinienne.

Nous avons constaté que l'observateur percevait l'image de l'œil gauche ou celle de l'œil droit selon que les axes visuels convergaient à gauche ou à droite du plan médian.

Si, par exemple, les deux yeux ouverts, j'observe avec l'œil gauche une préparation au microscope, je perçois l'image de la préparation reçue par l'œil gauche si les axes visuels convergent du côté gauche et l'image des corps voisins reçue par l'œil droit si les axes visuels convergent à droite.

On peut encore vérifier ce fait au stéréoscope en observant deux vues différentes, mais de même tonalité. C'est ainsi qu'en plaçant une photographie de coralliaire devant notre œil gauche et une photographie de pycnogonide devant notre œil droit, nous avons perçu le premier ou le second de ces animaux selon que nos axes visuels convergeaient à gauche ou à droite. Il nous paraît donc permis d'attribuer, dans une certaine mesure, l'antagonisme des champs visuels à des phénomènes inconscients de convergence ou de divergence dont nous retrouverons dans une expérience ultérieure (V. p. 107) un exemple remarquable.

Mais ce sont là d'ailleurs des phénomènes exceptionnels qui ne paraissent jouer aucun rôle dans la vision binoculaire normale. Il suffit, pour s'en convaincre, de répéter l'expérience de la règle placée obliquement devant l'observateur (V. p. 42).

Fixons la partie médiane de cette règle placée à hauteur des yeux dans un plan horizontal et obliquement par rapport à notre plan médian.

Il est facile de voir que la règle semble pivoter autour de

sa partie médiane quand nous masquons vivement l'un ou l'autre œil. L'extrémité la plus rapprochée paraît en effet se déplacer vers la gauche ou vers la droite selon que l'on masque l'œil gauche ou l'œil droit. Ce qui prouve que l'observateur perçoit bien toujours deux images nettes et différentes de la règle.

Il en est encore de même lorsque nous fixons un point A. Toutes les fois que l'image d'un point B situé en avant ou en arrière du point A nous paraîtra double, l'objet B paraît se déplacer lorsque nous masquons rapidement l'un ou l'autre œil. Il n'y a donc jamais suppression de l'une des images rétinienne.

S'il en était autrement, c'est-à-dire si nous ne pouvions percevoir simultanément les deux images rétinienne d'un même objet, il serait bien difficile d'expliquer la supériorité de la vision binoculaire sur la vision monoculaire ou encore la supériorité des épreuves stéréoscopiques sur les épreuves photographiques simples.

La théorie du docteur JAVAL nous paraît donc fort discutable.

Mais cette théorie devient plus précise sous la forme que lui donne le Dr TSCHERNING. Il n'y a plus disparition réelle de l'une des images rétinienne. Tout point fixé par l'observateur est vu simple et les autres points sont vus doubles. Mais l'unité de sensation n'est pas troublée parce que, par un acte psychique, l'observateur choisit parmi les sensations perçues celles qui l'intéressent.

Considérons deux points placés à des distances différentes de l'observateur et supposons que le point fixé se déplace lentement. L'observation montre que la distance qui sépare les images doubles du point non fixé est variable et qu'elle a son maximum lorsque les points appartiennent tous deux au plan médian de l'observateur. Cette distance peut donc devenir nulle et par conséquent la fusion des images doubles n'est pas toujours due à un acte psychique.

Nous allons exposer quelques expériences qui nous paraissent devoir préciser la physiologie des phénomènes visuels.

C. — LOIS DE LA FUSION DES IMAGES RÉTINIENNES.

L'unité de sensation dans la vision binoculaire, telle qu'elle résulte des expériences que nous allons exposer, paraît soumise aux lois suivantes :

1° L'observateur fixant un point de l'espace, tout point de la rétine reçoit les images d'une région déterminée de l'espace.

2° L'impression lumineuse n'est pas rigoureusement localisée au point d'incidence du rayon lumineux.

3° Il est impossible de fusionner les deux images rétinienne d'un même point de l'espace lorsqu'elles sont reçues par des régions non identiques de la rétine.

4° L'unité de sensation résulte d'une disposition organique. Elle ne peut avoir lieu quand les images rétinienne d'un point de l'espace appartenant au plan médian ne sont pas reçues rigoureusement par chacune des foveas.

a) **Première loi.**

L'observateur fixant un point de l'espace, tout point de la rétine reçoit les images d'une région déterminée de l'espace.

La méthode des réseaux permet de vérifier ce principe. Placé en effet à une distance convenable du stéréogramme, l'observateur n'a pas conscience, aussi bien dans la vision monoculaire que dans la vision binoculaire, de la discontinuité des images.

b) **Seconde loi.**

L'impression lumineuse n'est pas localisée rigoureusement au point d'incidence.

Il faut entendre par là que cette impression est transmise non seulement par la fibre nerveuse propre au point d'incidence, mais par l'ensemble des fibres nerveuses innervant une zone rétinienne ayant pour centre le point d'incidence. Tout se passerait comme si l'impression lumineuse rayonnait dans toutes les directions autour de ce point. Elle atteindrait ainsi pour les points dont les images sont reçues par des points rétinienne non identiques les fibres nerveuses qui se rendent dans l'un et l'autre œil à des points « » rigoureusement identiques.

La structure de la rétine où des neurones d'association unissent entre elles les cellules sensorielles, où les cellules multipolaires sont unies par des neurones semblables, autorise et justifie cette conception des phénomènes visuels.

Par définition, les images rétinienne seront dites principales quand elles seront reçues directement ou indirectement par des éléments rétiniens identiques; et secondaires, quand elles seront reçues par des points rétiniens non identiques.

Les images d'un point pourront être ou ne pas être fusionnées selon qu'elles seront principales ou secondaires.

Une expérience suggérée par notre maître, M. le Professeur YVES DELAGES, établira tout d'abord ce principe. L'examen des stéréogrammes obtenus par la méthode des rotations et l'analyse d'une expérience de HELMHOLTZ, permettront de déterminer entre quelles limites est comprise la distance du point incident au point identique dont la fibre nerveuse transmet indirectement la sensation.

I. — Première expérience (fig. 54 et 55).

Deux fils noirs aa' et bb' sont placés verticalement sur les bords d'une fenêtre percée dans un carton noir (fig. 54). L'in-

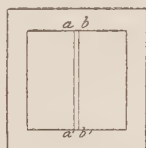


Fig 54

tervalle qui les sépare mesure 0 mm. 5. La face externe du carton porte une feuille de papier blanc qui diffuse la lumière d'une lampe placée en arrière par rapport à l'observateur qui regarde les fils.

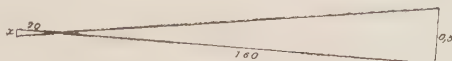


Fig 55

Pour l'observateur placé à une distance de 160 cm. environ, les deux fils paraissent confondus en un seul. Soient x la distance de leurs images rétinienne et 20 mm le diamètre de l'œil.

On a (fig. 55) :

$$\frac{0,5}{x} = \frac{1.600}{20}$$

D'où $x = 0 \text{ mm. } 006$

L'épaisseur des cônes dans la région de la fovea centralis variant de 0 mm. 002 à 0 m. 0025 pour SCHULTZ, de 0 mm. 0015 à 0 mm. 002 pour MÜLLER et de 0 mm. 0031 à 0 mm. 0036 pour WELCKER, il en résulte que les images rétinienne des deux fils, bien que reçues par des éléments rétiens distincts, donnent une sensation unique ou, autrement dit, sont fusionnées.

L'impression lumineuse n'est donc pas rigoureusement localisée au point d'incidence.

II. — Seconde expérience.

Soient O le centre optique de l'objectif dans la méthode des rotations, P₁ et P₂ les positions successives de la plaque sensible (fig. 56). Le plan horizontal mené par le centre optique

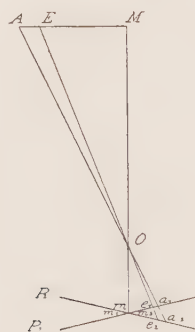


Fig 56

de l'objectif étant pris pour plan de figure, le plan médian tel qu'il a été défini dans cette méthode, aura pour trace la bissectrice OM de l'angle formé par les deux positions successives de l'axe optique de l'objectif.

Considérons dans le plan de figure trois points A E M situés sur une même perpendiculaire à O M. Leurs images conjuguées se feront successivement en $a_1 e_1 m_1$ sur la plaque P₁ et en $a_2 e_2 m_2$ sur la plaque P₂. Ces images seront juxtaposées de telle sorte que la distance $m_1 m_2$ soit égale à l'écartement

des yeux de l'observateur et que l'image $a_1 e_1 m_1$ soit vue par l'œil gauche et l'image $a_2 e_2 m_2$ par l'œil droit (fig. 57).

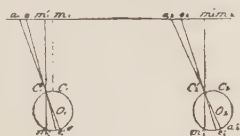


Fig 57

L'axe secondaire passant par le point A a fait avec O M un angle de 5 degrés et le point E est tel que ses images e_1 et e_2 sont vues nettement et fusionnées en même temps que les conjuguées de A.

L'expérience montre que, dans ce cas, $a_2 e_2$ mesure 2 mm. 5. On a évidemment :

$$a_1 e_1 < a_2 e_2$$

Les images a_1 et a_2 étant reçues dans l'un et l'autre œil par deux points rétinien rigoureusement identiques, les images rétinien des points conjugués e_1 et e_2 seront reçues par des points rétinien non identiques.

Calculer la différence $a_2 e_2 - a_1 e_1$ c'est déterminer la distance $\frac{a_2 e_2 - a_1 e_1}{2}$ qui sépare le point incident du point rétinien identique dont la fibre nerveuse transmet dans l'un et l'autre œil, l'impression lumineuse reçue par les éléments rétinien $e'_1 e'_2$ (fig. 57).

La distance focale de l'objectif égale à celle des lentilles du stéréoscope est de 120 mm. et les deux positions successives de l'axe optique de l'objectif font entre elles un angle de douze degrés.

Nous supposons que les yeux de l'observateur soient des sphères de 10 mm. de rayon et que les deux points nodaux de chaque cristallin, confondus en un seul, soient à la surface du globe oculaire.

Lorsque l'observateur fixe les conjugués $a_1 a_2$ de A, les centres optiques de chaque cristallin viennent en c'_1 et c'_2 . Menons les perpendiculaires $c_1 m_1$, $c_2 m_2$, $c'_1 m'_1$ et $c'_2 m'_2$ au plan des images conjuguées.

Soit α_1 et α_2 , β_1 et β_2 , les angles faits par les normales $c'_1 m'_1$ et $c'_2 m'_2$ avec les rayons :

$o_1 a_1$ et $o_2 a_2$, $c'_1 e_1$ et $c'_2 e_2$

Posons $w_1 = \alpha_1 - \beta_1$

et $w_2 = \alpha_2 - \beta_2$

En supposant égales les distances $c_1 m_1$, $c_2 m_2$, $c'_1 m'_1$ et $c'_2 m'_2$ on a :

$$tg \alpha_1 = \frac{a_1 m'_1}{c_1 m_1} \quad (1)$$

$$tg \alpha_2 = \frac{a_2 m'_2}{c_1 m_1} \quad (2)$$

$$tg \beta_1 = \frac{e_1 m'_1}{c_1 m'_1} \quad (3)$$

$$tg \beta_2 = \frac{e_2 m'_2}{c_1 m_1} \quad (4)$$

Le calcul donne (fig. 57) :

$$\begin{aligned} a_2 m'_2 &= a_2 m_2 - m_2 m'_2 \\ &= 9^{\text{mm}} 779. \end{aligned}$$

On a d'ailleurs (V. 1^{re} partie, p. 52) :

$$a_2 m'_2 - a_1 m'_1 = a_2 m_2 - a_1 m_1 = \frac{f}{5} \times tg^2 5^\circ$$

d'où

$$a_1 m'_1 = 9^{\text{mm}} 596$$

Posant $a_2 e_2 = 2^{\text{mm}} 5$, on a :

$$e_2 m'_2 = 7^{\text{mm}} 279.$$

Le triangle $O m_2 e_2$ (fig. 56) donne en posant $\beta' = m_2 o e_2$

$$\beta' = 3^\circ 50' 18'',$$

Or, comme précédemment :

$$\begin{aligned} e_2 m'_2 - e_1 m'_1 &= \frac{f}{5} \times tg^2 \beta' \\ &= 0^{\text{mm}} 108 \end{aligned}$$

d'où

$$e_1 m'_1 = 7^{\text{mm}} 17$$

Des formules (1) (2) (3) et (4) on tire :

$$\alpha_1 = 4^\circ 34'$$

$$\alpha_2 = 4^{\circ}39'$$

$$\beta_1 = 3^{\circ}25'$$

$$\beta_2 = 3^{\circ}28'$$

d'où

$$w_2 = 1^{\circ}11'$$

et

$$w_1 = 1^{\circ}9'$$

d'où finalement

$$w_1 - w_2 = 2'$$

L'arc rétinien qui correspond à l'angle $2'$ mesure $0^{\text{mm}}011$. L'impression lumineuse peut donc se propager à une distance qui n'est pas inférieure à $0^{\text{mm}}005$.

III. — Expérience de Helmholtz (V. p. 40).

Si, dans la première partie de cette expérience, nous traçons aa' au crayon bleu et bb' au crayon rouge (fig. 58), nous voyons très nettement une ligne rouge et deux lignes bleues si nous fixons bb' et une ligne bleue et deux lignes rouges si nous fixons aa' . L'expérience est très délicate. Il convient d'éviter que, par des mouvements involontaires et inconscients des yeux, l'observateur n'obtienne simultanément la fusion des droites aa' et bb' . L'addition de la droite cc' dans la seconde partie de l'expérience a simplement pour effet de supprimer la possibilité de ces mouvements et d'empêcher par suite la fusion simultanée des droites aa' et bb' ,

Les lignes bleues bb' (fig. 58) sont séparées par un intervalle



Fig 58

de 70 mm. égal à l'écartement des centres optiques des lentil-

les de notre stéréoscope. Les lignes rouges a et a' se trouvent respectivement à 4 et à 5 mm. des lignes bleues. La distance des lentilles étant de 120 mm. et $\alpha\alpha'$ désignant respectivement les angles aob et $a'o'b'$, on a :

$$\lg \alpha = \frac{4}{120}$$

et

$$\lg \alpha' = \frac{5}{120}$$

d'où

$$\alpha' - \alpha = 2^{\circ}23' - 1^{\circ}54' = 29'$$

L'arc rétinien qui correspond à cet angle mesure 0 mm. 16. L'impression lumineuse ne peut donc pas se propager à une distance de 0 mm. 08 du point incident.

En résumé, il résulte des expériences précédentes que l'impression lumineuse peut se propager à une distance du point d'incidence comprise entre 0 mm. 005 et 0 mm. 08.

IV. — Réfutation de l'objection d'Helmholtz à toute théorie de l'identité.

Si les points a et a' sont rigoureusement identiques, dit HELMHOLTZ, et si les images rétiniennes d'un point B de l'espace sont reçues dans l'œil gauche par un point b' voisin de



a' (fig. 59) et dans l'œil droit par le point a , comment admettre qu'on fusionne les images de B, alors que nous pouvons distinguer l'un de l'autre deux points de l'espace qui formeraient leurs images en a' et b' .

L'étude précédente permet de réfuter cette objection. Si les images de B sont fusionnées, c'est qu'en fait l'impression lumineuse a été recueillie par les fibres nerveuses de deux points rétiniens ii'' rigoureusement identiques.

On conçoit d'ailleurs que si les impressions lumineuses distinctes reçues par les points rétiniens b' et a' peuvent affecter plusieurs fibres nerveuses, leur intensité décroît à mesure qu'elles s'éloignent de leur point d'incidence respectif et que,

si elles sont d'égale intensité, elles aient chacune leur zone d'influence propre.

Il n'en serait plus de même et nous trouvons là une confirmation de notre conception des phénomènes visuels, si l'une des deux impressions lumineuses était plus intense que l'autre : elle serait seule perçue par l'observateur.

Nous reviendrons ultérieurement sur l'interprétation des expériences précédentes (V, p. 114).

c) Troisième loi.

Il est impossible de fusionner les deux images d'un même point de l'espace quand elles sont reçues par des régions non identiques de la rétine.

Cette loi contredit l'expérience que nous avons citée page 39 et d'après laquelle les images rétinienne d'un même point pouvaient être fusionnées lorsqu'elles étaient reçues par des régions non identiques de la rétine.

Nous avons repris cette expérience de la façon suivante.

Deux cartons identiques A et B (fig. 60) sont percés d'une

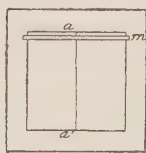


Fig. 60

ouverture carrée dont l'axe vertical est indiqué par un fil noir. L'axe vertical du premier est indiqué par le fil aa' et celui du second par le fil bb' .

Sur la face postérieure de A est placée une feuille de papier blanc en arrière de laquelle se trouve la source lumineuse. Les deux cartons sont disposés perpendiculairement au plan médian de l'observateur et de telle sorte que les deux fils se trouvent dans le plan médian (fig. 61).

L'observateur est en avant du carton antérieur en gd et les positions respectives de deux bandes de papier m et n (fig. 60) lui permettent de fixer à volonté l'un ou l'autre fil.

Quand l'observateur fixe le fil aa' , il perçoit deux images de bb' au milieu desquelles apparaît au loin le fil aa' .

Le résultat est analogue si l'observateur fixe le fil bb' . Il perçoit encore trois fils, mais bb' se trouve en avant tandis qu'au loin, à gauche et à droite de bb' , l'observateur perçoit une image de aa' .

Mais que l'observateur retire les bandes de papier m et n ou qu'il néglige de les regarder dans l'expérience précédente, il voit tantôt deux fils, tantôt trois fils.

Or, les images rétinienne des fils aa' et bb' étant identiques, l'observateur perçoit deux images quand l'un de ses yeux fixe le fil aa' et l'autre le fil bb' . A ce moment (fig. 61), il croit voir

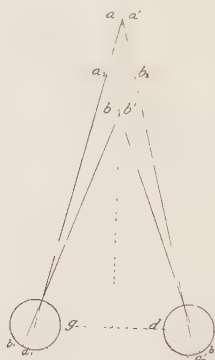


Fig. 61

le fil A à l'intersection des rayons visuels $a_1 a$ et $b'_1 b$, c'est-à-dire en a_2 et le fil B en b_2 , intersection des rayons visuels $a'_1 a$ et $b_1 b$. Dans ce cas, en effet, l'observateur n'a aucune notion de la distance qui sépare les deux fils.

Si donc les deux images de chacun des fils A et B sont toutes deux fusionnées, c'est que la fovea de l'œil gauche reçoit une image de aa' et celle de l'œil droit une image de bb' et que les images identiques b_1 et a'_1 reçues par deux régions identiques sont fusionnées.

Si d'ailleurs quelque doute subsistait, il suffirait de répéter l'expérience en remplaçant le fil noir bb' par un fil rouge. Il est alors préférable d'opérer à la lumière naturelle et avec un éclairage direct. Tant que l'observateur perçoit trois images, deux sont rouges s'il fixe aa' et deux sont noires s'il fixe bb' . Dès qu'il perçoit deux images, l'une et l'autre sont noires et bordées de rouge.

Observons maintenant au stéréoscope (fig. 62) les images

conjuguées aa' et bb' de deux verticales A et B placées dans le plan médian. On sait que, dans ce cas, les intervalles ab et $a'b'$ sont égaux. Nous aurons soin d'ailleurs de tracer aa' au



Fig. 62

crayon rouge et bb' au crayon bleu. Quand nous observons deux images, toutes deux sont violettes. Si nous approchons alors lentement aa' et bb' , nous voyons nettement deux traits bleus se séparer dans la partie inférieure des images violettes et s'unir bientôt sur la ligne médiane. On voit finalement une ligne bleue unique médiane en avant de deux lignes rouges latérales.

Si, au contraire, nous éloignons aa' et bb' ou mieux si nous éloignons ab de $a'b'$, ce qui nous permet de diminuer la parallaxe et par suite l'angle de convergence des droites A et B, nous apercevons bientôt une ligne rouge unique médiane entre deux lignes bleues plus rapprochées.

Il est donc impossible de fusionner les images d'un même point de l'espace lorsqu'elles sont reçues par des régions non identiques de la rétine.

d) Quatrième loi.

L'unité de sensation résulte d'une disposition organique. Elle ne peut avoir lieu quand les images rétinienne du point fixé supposé dans le plan médian sont toutes deux internes ou externes par rapport à chaque fovea ou, en d'autres termes, quand les images de ce point ne sont pas rigoureusement reçues par l'une et l'autre fovea.

Cette loi montre que la condition nécessaire à l'unité de sensation, telle qu'elle résulte de la deuxième et de la troisième loi, n'est pas suffisante. L'expérience suivante le prouve.

Observons avec une jumelle convergente et une jumelle divergente ayant même base visuelle deux points A et B appartenant à un même plan de front et suffisamment rappro-

chés pour être vus simultanément. Nous les supposons symétriques par rapport à un point M du plan médian et situés tous deux dans le plan horizontal mené par Ob' , Ob , O et O' (fig. 63)

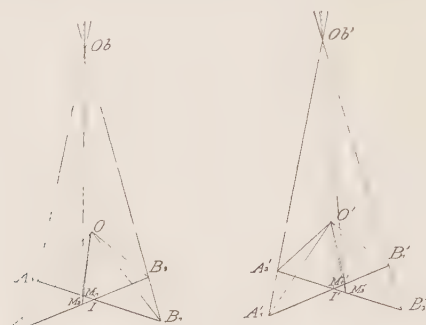


Fig. 63



Fig. 64

centres optiques des objectifs et des oculaires. Nous supposons les objectifs convergents et les oculaires divergents.

Les points AMB feraient leur image en $A_1 M_1 B_1$ ou en $A_3 M_3 B_3$ dans le plan focal de l'objectif gauche et en $A'_1 M'_1 B'_1$ ou en $A'_3 M'_3 B'_3$ dans le plan focal de l'objectif droit selon que la jumelle est convergente ou divergente. Dans le premier cas les points AMB sont vus par l'œil gauche suivant les directions $A_1 O$, $M_1 O$, $B_1 O$, et par l'œil droit suivant $A'_1 O'$, $M'_1 O'$, $B'_1 O'$. Dans le second cas suivant les directions $A_3 O$, $M_3 O$, $B_3 O$ par l'œil gauche et suivant $A'_3 O'$, $M'_3 O'$, $B'_3 O'$ par l'œil droit.

L'image des points AMB se ferait donc sur la rétine de l'œil gauche en $a_1 m_1 b_1$ ou en $a_3 m_3 b_3$ et sur la rétine de l'œil droit en $a'_1 m'_1 b'_1$ ou en $a'_3 m'_3 b'_3$ selon que la jumelle est convergente ou divergente.

La distance des centres optiques des objectifs est telle qu'avec la jumelle convergente les points $m_1 m'_1$ sont reçus par chacune des foveas.

L'observateur qui ne perçoit avec la jumelle convergente qu'une image des points AMB en perçoit deux, nettes et distinctes, avec la jumelle divergente.

Or, les points AMB étant à 125 mètres environ de l'observa-

teur, les deux axes secondaires de chacun des points A et B sont sensiblement parallèles. Les points rétinien a_1 et a'_3 , a_3 et a'_1 , b_1 et b'_3 , b_3 et b'_1 sont rigoureusement identiques et les arcs $a_1 a_3$, $a'_1 a'_3$ d'une part, $b_1 b_3$ et $b'_1 b'_3$ d'autre part sont rigoureusement égaux.

L'impression lumineuse reçue par les points rétinien a_1 et a'_1 , b_1 et b'_1 , s'est donc propagée jusqu'à des points $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ rigoureusement identiques puisque les images des points considérés A et B sont fusionnées. Il en doit être de même lorsque les images de ces points se font en $a_3 a'_3$, $b_3 b'_3$. Or, dans ce cas, l'expérience montre que les images des points A et B sont doubles.

Ce phénomène ne peut être attribué à la position des images A et B puisque les arcs $a_1 a_3$, $a'_1 a'_3$ et $b_1 b_3$, $b'_1 b'_3$ sont égaux. Par contre les images $m_1 m'_1$ du point M étant reçues par chacune des foveas, les images $m_3 m'_3$ obtenues par la jumelle divergente sont reçues par des points rétinien appartenant à des régions non identiques de la rétine. Conformément à une expérience précédente, il y a impossibilité absolue de fusionner ces images.

Il nous reste à montrer que les arcs rétinien égaux $a_1 a_3$, $a'_1 a'_3$, $b_1 b_3$ et $b'_1 b'_3$ sont inférieurs à la distance à laquelle peut se propager l'impression lumineuse et que les arcs rétinien égaux $m_1 m_3, m'_1 m'_3$ sont d'une grandeur telle qu'une disposition organique paraît nécessaire pour expliquer que l'unité de sensation, possible avec la jumelle convergente, ne l'est plus avec la jumelle divergente.

Calcul de $a_1 a_3$.

L'observateur ne pouvant percevoir simultanément tous les points du plan de front auquel appartiennent les points AMB, nous aurons la plus grande valeur que puisse prendre $a_1 a_3$ en supposant, dans le calcul, les points A et B placés à la limite du champ de l'instrument.

Or, calculer $a_1 a_3$ revient à calculer l'angle $A_1 OA_3$ que font entre elles les directions sous lesquelles est vu le point A avec la jumelle convergente, puis avec la jumelle divergente.

$$\text{Posons} \quad \alpha_1 = A_1 OI$$

$$\text{et} \quad \alpha_3 = A_3 OI$$

Le calcul donne :

$$A_1 I = 3^{\text{mm}}141$$

d'où, en résolvant le triangle $OA_1 I$,

$$\alpha_1 = 5^\circ 8'$$

De même on trouve

$$A_3 I = 3^{\text{mm}}144$$

et la résolution du triangle $OA_3 I$ donne

$$\alpha_3 = 5^\circ 7'$$

On a finalement $\alpha_1 - \alpha_3 = 1'$

Cet angle correspond sensiblement à un arc rétinien de $0^{\text{mm}}006$.

Les images rétiniennes des points A et B se trouvent donc, dans l'expérience précédente, à moins de $0^{\text{mm}}003$ des points identiques $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ qui, dans chaque œil, ont recueilli l'impression lumineuse et permis la fusion de ces images.

Il en est encore de même des images rétiniennes données par la jumelle divergente.

Il ne suffit donc pas que les images rétiniennes d'un point soient des images principales pour qu'elles soient fusionnées.

Calcul de $m_1 m_3$.

L'arc rétinien $m_1 m_3$ est déterminé par l'angle $M_1 O M_3$ (fig. 63). Le point fait son image en M_1 ou en M_3 dans le plan focal de l'objectif gauche selon que la jumelle est convergente ou divergente (fig. 65). Menons par le point I une perpendiculaire à l'axe optique et par son point d'intersection K avec l'axe secondaire du point M la parallèle $M'_1 M'_3$ à ObO . Le point M'_1 appartient au plan focal de l'objectif de la jumelle convergente et le point M'_3 au plan focal de l'objectif de la jumelle divergente.

On a :

$$M_1 O I > M_1 O I$$

$$\text{et} \quad M'_3 O I < M_3 O I$$

d'où en posant $M'_1 O I = w_1$ et $M'_3 O I = w_3$

$$M_1 O M_3 < w_1 - w_3$$

Or le point M étant à 125 mètres de l'observateur et la base

visuelle de l'instrument étant de 66 mm., on a en désignant

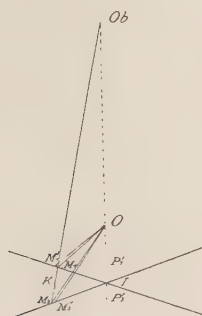


Fig 65

par ε l'angle que fait avec ObO l'axe secondaire du point M :

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{33}{125000}$$

d'où $\varepsilon = 54''$.

Posons, pour simplifier le calcul, $\varepsilon = 1'$.

On a :
$$\operatorname{tg} w_1 = \frac{IK}{OP_1}$$

d'où

$$w_1 = 5'9''29$$

de même,

$$\operatorname{tg} w_2 = \frac{IK}{OP_3}$$

d'où

$$w_2 = 5'9''24$$

On a donc :

$$M_1 OM_3 = 0'05$$

Sans vouloir attribuer à ce résultat numérique une exactitude qu'il ne comporte pas, il nous semble toutefois permis de conclure qu'les arcs rétinien $m_1 m_3$ et $m'_1 m_3$ sont d'une petitesse telle que l'unité de sensation ne peut avoir lieu quand les images du point M ne sont pas reçues rigoureusement par l'une et l'autre fovea. L'unité de sensation paraît donc bien dépendre d'une disposition organique.

L'observateur peut, en éloignant lentement de lui le champ de la jumelle divergente, obtenir l'unité de sensation. La di-

rection des rayons lumineux n'ayant pas varié, il faut bien admettre que les points réiniens $m_1 m'_1$ sont venus en $m_3 m'_3$ par un effort de divergence (fig. 64).

L'angle de divergence est d'ailleurs si faible que la critique que nous avons faite de la théorie des projections subsiste tout entière.

Mais ces mouvements de divergence sont généralement très pénibles. Ils sont nécessaires chez certaines personnes pour fusionner, au stéréoscope, les images conjuguées. La fusion des images n'est alors jamais immédiate. Ce qui permet sans doute d'expliquer les résultats contradictoires (V. p. 43) donnés par l'observation stéréoscopique d'images conjuguées à la lueur de l'étincelle électrique. Les images sont fusionnées par les uns et ne le sont pas par les autres. Il serait donc nécessaire à chaque observateur de modifier tout d'abord dans cette expérience l'écartement des objectifs ou mieux l'écartement des images.

e) De l'interprétation des expériences décrites.

On pourrait objecter à notre conception des phénomènes visuels que si l'impression lumineuse n'est pas localisée rigoureusement au point d'incidence, c'est que les images ne sont pas rigoureusement nettes et que l'image d'un point est un cercle.

Or, dans l'expérience des deux fils (v. p. 101), nous les confondons à la même distance de 160 cm. que l'observation soit faite avec ou sans diaphragme (carton noir percé d'un trou d'aiguille).

Si d'ailleurs l'image d'un point est un cercle, le rayon de celui-ci est négligeable. On a vu en effet que, malgré l'extrême petitesse des arcs réiniens $m_1 m_3 m'_1 m'_3$ il était impossible avec la jumelle divergente de fusionner sans effort les images réiniennes d'un point du plan médian situé à 125 mètres de l'observateur, alors que la fusion se faisait sans difficulté avec la jumelle convergente (V. p. 110).

Conclusion.

Il résulte de l'étude précédente que l'unité de sensation dé-

pend d'une structure organique et ne peut avoir lieu que si les foveas reçoivent rigoureusement les images du point fixé supposé dans le plan médian de l'observateur. Cette condition étant remplie, il y a unité de sensation pour tous les points qui donnent directement ou indirectement des images principales. L'unité de sensation dépend en outre pour tous les points qui donnent exclusivement les images secondaires susceptibles d'être perçues par un effort de la volonté, du facteur psychique invoqué par le Dr TSCHERNING en faveur de la théorie du Dr JAVAL. Il en est ainsi en particulier des points dont les images sont reçues par des régions non identiques de la rétine.

IV. — RÉSUMÉ GÉNÉRAL

Nous avons résumé dans la première partie les principes dont s'inspirait la stéréoscopie actuelle et montré l'importance qu'elle attribuait aux phénomènes de convergence dans la perception des notions de distance et de relief. L'exposé des théories qui expliquent l'unité de sensation termine cette partie.

Les méthodes stéréoscopiques décrites dans la seconde partie sont nouvelles. La méthode des rotations est même paradoxale puisque les stéréographies prises successivement du même point de vue sont, pour l'observation, disposées en sens inverse de celui que prévoit la théorie. Cette méthode donne d'ailleurs des microscopes binoculaires à un seul objectif une théorie rationnelle qui en explique le relief stéréoscopique et pseudoscopique. Quant à la méthode convergente, elle diffère nettement des premiers procédés de stéréographie par un écartement fixe des objectifs et par l'inclinaison constante de leurs axes optiques par rapport au plan médian. Elle est plus sensible et plus exacte que la méthode actuelle puisqu'elle a moins pour effet d'obliger l'observateur à reconstituer pour ainsi dire géométriquement l'espace représenté que de l'obliger à répéter, devant le stéréoscope, les efforts de convergence que nécessiterait l'observation directe de cet espace.

L'inclinaison du système optique dans l'appareil visuel ou dans l'appareil stéréophotographique nous a permis d'ailleurs

de formuler une loi générale qui paraît, dans la vision binoculaire, dominer la perception directe ou indirecte du relief.

Les images réliniennes d'un même objet sont de grandeur différente. Le relief est stéréoscopique lorsque la plus grande des images se fait dans l'œil gauche pour les objets placés à gauche de l'observateur et dans l'œil droit pour les autres. Une disposition inverse donne le relief pseudoscopique.

Après avoir distingué le relief absolu reposant uniquement sur les phénomènes de convergence du relief relatif qui dépend à la fois du relief absolu et du diamètre apparent, nous avons étudié leur variation lorsque la distance de l'objet observé devenait plus grande ou plus petite.

Le microscope QUIDOR-NACHET a permis d'établir que la distance de l'observateur à l'objet devenant n fois plus petite ou plus grande, le relief relatif était multiplié ou divisé par la racine carrée du nombre n . Cette loi permet, en outre, de montrer que, conformément à l'impression que nous donnait leur emploi et contrairement à la théorie admise, les jumelles diminuaient la sensation de relief. Le relief n'est pas multiplié comme on l'avait dit par le grossissement de la jumelle, mais divisé par la racine carrée de celui-ci. Par contre, nous avons reconnu que l'augmentation de la base visuelle des téléstéréoscopes avait bien pour résultat d'augmenter le relief relatif. Mais celui-ci n'est pas multiplié par le rapport de la base visuelle de l'instrument à celle de l'observateur, mais par la racine carrée de ce rapport.

Quant au relief relatif donné par les jumelles téléstéréoscopiques, il est multiplié par la racine carrée du rapport des deux bases visuelles et divisé par la racine carrée du grossissement de la jumelle. Ce dernier facteur étant de beaucoup plus important que le précédent, il en résulte que ces instruments diminuent finalement le relief des objets qui paraissent fortement aplatis.

Si nous considérons l'augmentation de la parallaxe obtenue par le rapprochement des deux images conjuguées, nous constatons que le relief devient perspectif et que les objets paraissent d'autant plus aplatis qu'ils sont plus éloignés. Le relief est dit « condensé ».

Après avoir discuté les modifications que subit théorique-

ment le relief relatif sous l'influence des variations de la distance des stéréogrammes observés, nous avons attribué la sensation du relief à la synthèse psychique de deux images rétinienne différentes et de sensations fournies par les variations du relief absolu et du diamètre apparent des objets observés.

Enfin l'étude de l'unité de sensation dans la vision binoculaire nous a conduit à répéter quelques expériences favorables ou contraires aux théories exposées dans la première partie. Nous n'avons pu, en présence des résultats obtenus, admettre les conclusions de leurs auteurs. De plus, une analyse aussi rigoureuse que possible des résultats fournis par la méthode des rotations ou par l'emploi des jumelles convergentes ou divergentes, nous a permis d'établir que l'unité de sensation était possible quand les images rétiniennes d'un même point de l'espace étaient reçues directement ou indirectement par des points rétiniens identiques, et que cette condition devenait suffisante quand les images d'un point fixé, supposé dans le plan médian, étaient reçues par l'une et l'autre fovea.

L'unité de sensation dépend en outre, pour tous les points qui donnent exclusivement des images secondaires, c'est-à-dire des images reçues par des points rétiniens non identiques, du facteur psychique invoqué par le Dr TSCHERNING en faveur de la théorie du Dr JAVAL.

Si sous cette forme nouvelle la théorie de l'identité n'est pas encore sans doute complètement irréprochable, elle nous paraît échapper du moins aux critiques formulées jusqu'ici contre elle.

SECONDE THÈSE

Propositions données par la faculté.

Botanique : La constitution des lichens.

Géologie : Les conditions biologiques du bassin de Paris pendant l'époque Eocène.

Vu et approuvé :

Paris, le 21 avril 1909,

Le doyen de la Faculté des Sciences,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

BIBLIOGRAPHIE

- ABBE. — 1. Beschreibung eines neuen stereoskopischen Oculars nebst allgemeinen Bemerkungen über die Bedingungen mikro-stereoskopischer Beobachtung. *Zft. f. Mikrosk.*, 1880, 2.207-224.
 2. On the conditions of orthoscopic and pseudoscopic effects in the binocular microscope. *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1881.
 3. On the mode of vision with objectives of wide aperture. *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1884.
 4. Justirvorrichtung für Entfernungsmesser mit zwei Fernrohren, D. R. P., 73.568 vom 20, VII, 1893 ; D. R. P., 73.568 vom 28, II, 1894 ; Iena, G. Fischer, 1906.
 5. Doppelfernrohr, D. R. P., 76.735 vom 19, X, 1893 ; D. R. P., 76.735 vom 9, VIII, 1894.
 6. Doppelfernrohr mit vergrössertem objectivabstand, D. R. P., 77.086 vom 9, VII, 1893 ; D. R. P., 77.086 vom 1, X, 1894.
 7. Stereoskopischer Entfernungsmesser, D. R. P., 82.571 vom 3, I, 1893 ; D. R. P., 82.571 vom 27, VII, 1895.
- AGUILONIUS. — *Opticorum libri VI*, Antwerp, 1613.
 ALHAZEN. — *Opticæ Thesaurus* ; Edit. Risneri Basil, 1572, lib. VII, p. 53-54.
 ALMEIDA (J. Ch. d'). — *Nouvel appareil stéréoscopique*, C. R., 1858.
- ANDERTON. — 1. A method or system by means of wich pictures projected upon a screen from an optical or magic lanterns are seen in relief or with stereoscopic effects ; E. P., 11.520 7, VII, 1891 ; E. P, 1835-24, I, 1898.
- AUBERT. — Das binoculare Perimikroskop. *Zft. f. Mikrosk.*, 1890, et *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1892.
- AUGUST. — *Pogg. Ann.*, CX (582-593) ; *Phil. Mag.*, 4, XX (329-336) ; *Ann. d. chim.*, 3, LX (506-509).
- BABO. — *Bericht der Freiburger Ges.*, II, 312-314, 1861.
- BACON ROGER. — *Opus majus*. London, 1733, Perspective, p. 118.
- BARDON. — L'application des oculaires terrestres et célestes en remplacement des oculaires concaves sur les lunettes-jumelles, Br. Fr., 19.756 (29 V. 1854).
- BARNARD. — Method of taking daguerreotype pictures for the stereoscope simultaneously, upon the same plate, with an ordinary camera. *Sill. Journ.*, 1853.
- BECK. — Description of a new stand for a single microscope, with an arrangement for using the magnifiers with both eyes. *Trans. Lond. Micr. Soc.*, 1864.
- BERKELEY. — Essay towards a new theory of vision Dublin, p. 30. *Robin's Mathematical tracts*. London, 1761.
- BERTHIER. — 1. *Cosmos*, 23 mai 1896.
 2. C. R., 28 novembre 1904
- BOUGUER. — *Mém. de l'Académie*, 1755.
- BOULANGER. — Une néo-jumelle, Br. Fr., 41.957-1859.
- BOW. — 1. Some remarks on stereoscopic vision and on the stereoscope. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1864.
 2. The stereoscope. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1865.
- BREWSTER. — 1. On the law of visible position in single and binocular vision

- and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures on the retina. *Trans. Roy. Soc.*, Ed. 1843.
2. On the Knowledge of distance as given by binocular vision. *Trans. Roy. Soc. Edinb.*
 3. On a singular effect of the juxtaposition of certain colours under particular circumstances, *XIV, Meet. Br. Ass. at York*, 1844.
 4. On the vision of distances given by colour, *XVIII, Meet. Br. Ass. at Swansea*, 1848. Not. 48.
 5. Description of several new and simple stereoscopes. *Trans. Roy. Scott. Soc. Arts*, 1851.
 6. Account of a binocular camera, and of a method of obtaining drawings of full length and colossal statues and of living bodies, which can be exhibited as solids with the stereoscope. *Trans. Roy. Scott. Soc. Arts*, 1851.
 7. Description of a binocular camera, *XIX, Meet. Br. Ass. at Birmingham*, 1849.
 8. On a new form of lenses and their application, *XIX, Meet. Br. Ass. at Birmingham*, 1849.
 9. An account of a new stereoscope, *XIX, Meet. Br. Ass. at Birmingham*, 1849.
 10. Notice of a chromatic stereoscope, *Trans. Roy. Scott. Soc. Arts*, 1851.
 11. Description of his stereoscope. *North. Brit. Rev.*, 1852.
 12. Examination of Dove's theory of lustre.
 13. On the binocular vision of surfaces of different colours, *XXV, Meet. Brit. Ass. at Glasgow*, 1855, not. 9.
 14. On Mr Roger's theory of binocular vision. *Proc. Edinb. Soc.*, 1850-57.
 15. The stereoscope, its history, theory, and construction with its application. London, J. Murray, 1856, 8°.
 16. The original invention of the stereoscope. *The Brit. Journ. Phot.*, 1857.
- BROWN (Th.). — 1. An apparatus for the production of stereoscopic photographs with a single lens camera at one exposure; *E. P.*, 21.406 1894.
2. The panoramic and stereoscopic camera obscura. *The Lant. Rec.*, 1901.
- BRÜCKE. — Ueber die stereoscopischen Erscheinungen und Wheatstone's Angriff auf die Lehre von den identischen Stellen der Netzhäute. *Müller's Arch.*, 1841.
- BUCKY. — Eine neue stereophotographische Deckungsmethode für anatomische, technische und stereometrische Zwecke. *Zft. f. wiss. Phot.*, 1907.
- BURMESTER. — Theorie der geometrisch-optischen gestalttäuschungen. *Zft. f. Psychol. her. von H.*, Ebbinghaus, 1906.
- CARPENTER. — 1. On binocular vision and the stereoscope. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1862.
2. On Nabet's stereo-pseudoscopic binocular microscope. *Trans. Lond. Micr. Soc.*, 1867.
3. The microscope and its revelations. Ed. London, J. et A. Churchill, 1875.
4. On Abbe's binocular eye-piece. *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1880.
5. On the physiology of binocular vision with the microscope. *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1884.
- CARTWRIGHT. — Stereoscopic camera. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1854.
- L. CAZES. — 1. De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte. *Journ. phys.*, 1885.
2. La stéréoscopie de précision, théorique et pratique. Paris, J. Michelet, Ph. Pellin, 1895.
- CHÉRUBIN D'ORLÉANS. — 1. La dioptrie oculaire. Paris, Th. Jolly et S. Bernard, 1671.
2. La vision parfaite, ou le concours des deux axes de la vision en un seul point de l'objet. Paris, S. Mabre-Cramoisy, 1677.
3. La vision parfaite ou la vue distincte par le concours des deux axes en un seul point de l'objet. Paris, E. Conterot, 1681.
- CHAUVEAU. — C. R., 6 avril 1908; C. R., 21 avril 1908.

- CHWOLSON. — Traité de physique. Traduction française Davaux. Hermann. Paris, 1908.
- CLARK. — On an arrangement for taking stereoscopic pictures with a single camera. *Phot. Journ.*, 1853-54.
- CLAUDET. — 1. On the stereomonoscope; on a manifold binocular camera. *XXII, Meet. Br. Ass. at Belfast*, 1852.
2. Improvements in stereoscopes. E. P., 711⁵³ vom 23.111 (prov. spec.), vom 23 IX (compl. spec.).
3. On the angle to be given to binocular photographic pictures for the stereoscope. *XXIII, Meet. Brit. Ass. at Hull.*, 1853.
4. Du stéréoscope et de ses applications à la photographie et derniers perfectionnements apportés au daguerréotype par Golas (1853). Paris, Lerebours et Secretan, 8° 55. S.
5. Discussion mit A. Gaudin. *La Lum.*, 1853, 203 vom 17-XII, 1854.
6. Considérations sur le stéréoscope. *La Lum.*, 1856, 30-31, vom 23.11.
7. On various phenomena of refraction through semi-lenses or prisms, producing anomalies in the illusion of stereoscopic images. *Proc. Roy. Soc.*, 1856.
8. On the phenomenon of relief of the image formed on the ground-glass of the camera obscura. *Proc. Roy. Soc.*, 1856-57.
9. On the Stereomonoscope, a new instrument by which an apparently single picture produces the stereoscopic illusion. *Proc. Roy. Soc.*, 1857.
10. The stereomonoscope. *Phot. News.*, 1858-59.
11. On the means of increasing the angle of binocular instruments, in order to obtain a stereoscopic effect in proportion to their magnifying power. *XXX, Meet. Brit. Ass. at Oxford*, 1860, Not. 61-62.
12. On a magnifying stereoscope with a single lens. *XXXVI, Meet. Brit. Ass. at Nottingham*, 1866.
13. A new fact relating to binocular vision. *Proc. Roy. Soc.*, 1866-67.
- COLLEN. — Earliest stereoscopic portraits.
- CROOKES. — Contributions to the theory on the stereoscop. *Phot. Journ.*, 1856, Nr. 53.
- CZAPSKI. — 1. Ueber neue Arten von Fernrohren insbesondere für den Handgebrauch. Berlin, L. Simion, O. J. 4°.
2. (C. und Gebhardt). Das stereoskopische Mikroskop nach Greenough und seine Nebenapparate. *Zft. f. wiss. Mikrosk.*, 1897.
3. Ueber Tiefenmessungen mit Hilfe des stereoskopischen Lehens. *Arch. f. Augenheilk.*, 1903.
4. Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Leipzig, J.A. Barth, 1904.
- CZERMAK (J.). — Notiz über die laryngoskopischen Fotografien und über das Mikrostereoskop. *Nr. Zft. f. Fot. u. Ster.*, 1862.
- CZERMAK (P.). — Stereoskopbilder mit Röntgen-Strahlen. *Int. phot. Mitsschr. f. Med. u. Natw.*, 1896.
- DANCER (J.-B.). — On the stereoscope. *Phot. Not.*, 1856. Nr. 5.
- DAVIDSON. — Stereoscopic Röntgen rays. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1899.
- DE HALDAT. — Expériences sur la double vision. *Journ. de Phys. de Chimie*, 1806.
- DE LA BLANCHÈRE. — Monographie du stéréoscope et des épreuves stéréoscopiques. Paris, Amyot, 1860.
- DE LA RUE, WARREN. — Report on the present state of celestial Photography in England. *XXIX, Meet. Brit. Ass. at Aberdeen*, 1859.
- DE MARRE. — Des instruments pour la mesure des distances. Paris, Ch. Tanera, 1880.
- DESCARTES. — Dioptrice Amstelodami, p. 68; De Homine, p. 66-71.
- DESPRATS (L'abbé). — Une chambre stéréoscopique. *La Lum.*, 1855.
- DICKSON. — Improvements in apparatus for taking stereoscopic photographs and for exhibiting the same; E. P., 6749.1899.

- DONAS. — A new optical instrument which I call physioscop; E. P., 2857⁸⁷ vom 16. XI.
- DOVE. — 1. Ueber das Binocularsehen primatischer Earben und eine neue stereoskopische Methode. *Berl. Ber.*, 1850.
2. Beschreibung mehrerer Prismenstereoskope und eines einfachen Spiegelstereoskops. *Berl. Ber.*, 1851.
3. Description of several prism-stereoscopes, and of a simple mirror-stereoscope.
- Monatsber. d. Berl. Akad, 1841. *Phil. Mag.*, 1851.
4. Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop. *Berl. Ber.*, 1851.
- On the stereoscopic combination of colours and on the influence of brightness on the relative intensity of different colours. *Phil. Mag.*, 1852.
5. Das Reversionsprima und seine Anwendung als terrestres Ocular und zum Messen von Winkeln. *Pogg. Ann.*, 1851; *Phil. Mag.*, 1851.
6. Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin, G. W. F. Müller, 1853.
7. On some stereoscopic phenomena. XXIV, *Meet. Brit. Ass. at Liverpool*, 1854.
8. Ueber die von ihm gegebene Erklärung des Glanzes in Beziehung auf eine von Hrn. Brewster dagegen gemachte Bemerkung. *Berl. Ber.*, 1855.
9. Ueber Binocularsehen durch verschieden gefärbte Gläser. *Berl. Ber.*, 1857.
10. Ueber die Unterschiede monocularer und binocularer Pseudoskopie, *Berl. Ber.*, 1857.
11. Darstellung von Körpern durch Betrachtung einer Projection derselben vermittelt eines Prismenstereoskop. *Berl. Ber.*, 1857.
12. Ueber den Einflutz des Binocularsehens bei Beurteilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände. *Berl. Ber.*, 1858.
13. Stereoskopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendruckes. *Berl. Ber.*, 1859.
14. Ueber Anwendung des Stereoskops um einem Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden. *Berl. Ber.*, 1859; *Phil. Mag.*, 1859.
15. Ueber die Nichtidentität der Abgüsse verschiedener Metalle in derselben Form. *Berl. Ber.*, 1860.
16. Optische Notizen. *Pogg. Ann.*, 1860-110.
17. Ueber die Nichtidentität der Grötze der durch Prägen und Guss in derselben Form von verschiedenen Metallen erhaltenen Medaillen. *Pogg. Ann.*, 1860-110.
18. Ueber Binocularsehen und subjective Farben. *Berl. Ber.*, 1861.
19. Optische Notizen. *Berl. Ber.*, 1867.
- DROUIN. — 1. Le stéréoscope et la photographie stéréoscopique. Paris, Mendel, 1894.
2. Sur une forme particulière de stéréoscope. *Bull. Belg. Phot.*, 1895.
3. Stéréoscope à double réflexion totale. *Soc. Franc. de Phot.*, 4. XII, 1896.
- DRÜNER. — Ueber Mikrostereoskopie und eine neue vergrößemde Stereoscop-camera. *Zfl. f. wiss. Mikrosk.*, 1900.
- DUBOSCQ. — 1. Stéréoscope de M. Brewster exécuté par M. Duboscq. C. R., 1850, 31, 895-896.
2. Une nouvelle disposition de stéréoscope. Br. Fr., 13069, 16, II, 1852.
3. L'optique stéréoscopique. *Cosmos*, 1854.
4. Note sur une nouvelle disposition de stéréoscope à prismes réfringents, à angle variable et lentilles mobiles. C. R., 1857.
5. Divers stéréoscopes. *Bull. Soc. Franc. Phot.*, 1857.
6. Sur le stéréoscope. *Bull. Soc. Franc. Phot.*, 1857.
7. Neueste Verbesserungen am Stereoskop von dem Optiker Duboscq in Paris. *Dingl. Journ.*, 1858.
- DUHAURON. — Estampes, photographies et tableaux stéréoscopiques produisant leur effet en plein jour sans l'aide du stéréoscope, Br. Fr. 216.465, 1891.

- DU TOUR. — In act. Paris, p. 334, 1743. *Mém. des Sav. Étrang.*, III, IV, V 1760 (Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux parait-il unique ?).
- EDER J. M. and E. VALENTA. — Weitere Versuche mit Röntgen'schen Strahlen der K. K. Lehr- und Versuchsanstalt für Photographie und Reproduktionsverfahren in Wien. *Phot. Corr.*, 1896.
- ESTANAVE. — C. R. T. CXLIII, n° 18, 29 octobre 1906. *Bulletin de la Société de physique*, 19 juin 1908.
- ELLIOT. — 1. The stereoscope. *Phil. Mag.*, 1852.
2. The telescopic stereoscope. *Phil. Mag.*, 1857.
- EMERSON. — 1. On the perception of relief. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1863.
2. The Chimenti pictures : a reply to Sir David Brewster. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1864.
- EUCLIDE. — Optice et katoptrice.
- FAYE. — Sur un nouveau système de stéréoscope. C. R., 1856. 43.
- FORREST. — History of the earliest successful experiments on lunar photography in England. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1863. 10.
- FRITSCH. — Neues Doppelfernrohr mit kontinuierlich veränderlicher Vergrößerung. *Centr. Zig. f. Opt. u. Mech.*, 1898. 19.
- GALIEN. — De usu partium, lib. X, cap. 12.
- GASSENDI. — Opera omnia Lugd. 1658, II, p. 395.
- GAUDIN. — 1. Appareil à objectifs jumeaux pour épreuves stéréoscopiques. Brev. de Quinet. *La Lumière*, 1853. 3.
2. Diskussion mit A. F. J. Claudet. *La Lumière*, 1853.
- GIRAUD-TEULON. — Physiologie et pathologie de la vision binoculaire, Baillières et fils, Paris, 1861.
- GOLTZSCH H. — 1. Vorschläge zur Verbesserung der Stereoscopenbilder. *Phot. Mith.*, 1877-78.
2. Binoculares Mikroskop. *Carl's Rep.*, 1879.
3. Astronomisches Doppel-Fernrohr. *Zft. f. Instrkde*, 1881. 1.
4. Binoculares Mikroskop. *Carl's Rep.*, 1882
5. Die Neugestaltung des stereoskops, eine Notwendigkeit. *Eder's Jahrb.*, 1890.
- GOVT. — Sur l'inventeur des lunettes binoculaires. C. R., 1880.
- GRUBB. — 1. Binocular aberrations. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1873.
2. Improvements in the stereoscope, Roy. Dubl. Soc., 21. I. 1879. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1879.
- GUILLOZ. — 1. Dispositif pour l'examen flurosopique stéréoscopique, Congrès de Riadol. et d'Electrol., Paris, 1900.
2. De l'examen stéréoscopique en radiologie, C. R. 1902, 134 ; Soc. franç. de physique, 1902-1903 ; Soc. de médecine de Nancy, 1904 ; Soc. de biologie, 1904 ; Congrès de radiologie de Milan, 1906.
- A. GUIEYSE. — Platine oscillante de Nacet pour la microphotographie stéréoscopique, C. R. Société de biologie, 6 juillet 1907.
- HARDIE. — 1. Description of a new pseudoscope. *Phil. Mag.*, 1853.
2. An improved stereoscope, E. P., 2827^{et}, 9.11.1857.
3. The telestereoscope. *Phil. Mag.*, 1858.
4. On a method of drawing, a stereoscopic duplicate of a single picture. *Phot Journ.*, 1859.
- HARMER. — 1. Stereoscopic effect on the screen. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1879.
2. On measuring the height of clouds and the intervals of their strata by means of photography and the stereoscope. *Brit. Journ. Alm.*, 1881.
3. Application of stereoscopic photography to the science of meteorology, *Phot. News*, 1881.
4. Stereoscopic work. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1882.
5. On the use of the stereoscope and its scientific application. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1887.
6. Binocular vision and astronomical photography. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1892.
- HARRIS. — 1. A treatise of optics, London B. White, 1775.

- HARTING. — Het Mikroskop, deszelfs Gebruik, Geschiedenis en Tegenwoordige Toestand, Utrecht, Van Paddenburg et Co, 1848.
- HARTLEY. — Observations on man.
- HEISCH. — On the improvement of Nachet's stereo-pseudoscopic binocular microscope. *Trans. Roy. Micr. Soc.*, 1868 (2), 16.
- HELMHOLTZ. — 1. Das Telestereoskop. *Pogg. Ann.*, 1857-101; *Phil. Mag.*, 1858.
2. Handbuch der physiologischen Optik. Bd XI der Karstenschen Allg. Encycl. d. Physik Leipzig. L. Woss., 1867.
3. Optique physiologique, Paris, Masson, 1867.
- HENDERSON. — 1. Photography and the stereoscope. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1871.
- HERING (E.). — *Beiträge zur Physiologie*, 1863.
- HERING. — Ueber die Grenzen der Schärfe, Leipz. Ber., 1900.
- HERSCHEL (Sir). — The telescope. Edinburgh. A. et Ch. Black, 1861, VII.
- HESSEMER. — Ueber die Anfertigung stereoskopischer Bilder. *Dingl. Polyt. Journ.*, 1856.
- HILL. — Stereoscopic effect from single photographs. *The Britain Journ. of Phot.*, 1898. 45.
- HIRTH. — Vorführung des neuen grossen Relief-Standfernrohres aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss in Jena (Vortr. geh. am III. Intern. Psych. Kongr. in München am, 5, VIII-96).
- HOBBS. — Robin's Tracts, II.
- HUECK. — Ueber die Täuschung des Fernrückens der Gesichtsubjecte. *Müller's Arch.*, 1840, 76, 81.
- HUET. — Improvements in optical instruments. E. P., 14.162 vom. 9, VI, 1897, veroff. 30, IV, 1898.
- HUGEL (Th.). — 1. Die stereoskopie gestützt auf orthogonale coordinaten, Neustadt a. d. H. A. H. Gottschick-Witter, 1876.
2. Einiges über Stereoskopie. *Carl's Rep.*, 1877.
- JAVAL. — 1. Sur un instrument nommé iconoscope destiné à donner du relief aux images planes observées avec les deux yeux. C. R., 1866.
2. De la neutralisation dans l'acte de la vision. *Ann. d'ocul.*, LIV, 1865.
- JONES (Th. Wh.). — On the invention of stereoscopic glasses for single pictures, with preliminary observations on the stereoscope and on the physiology of stereoscopic vision, London. John Churchill, 1860.
- KEPLER. — Dioptrice. Paralipomena, 1604.
- KNIGHT (G.). — Cosmorama stereoscope. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1855.
- KRAUSE. — Stereokopfaufnahmen mit einem Objektiv. *Phot. Mitt.*, 1893-94, 30.
- KUMMELL, CHAS. H. — Can the parallax of fixed stars be made perceptible? A suggestion to astronomers, A. N., 1887, 117.
- LAFLEUR. — Une jumelle à système rectificateur applicable aux stéréoscopes, Br. Fr., 18.818 vom 17. 11.1854.
- LAMBERT. — Optische Betrachtungen von Lambert, aus dessen hinterlassenen französischen handschrift überstetzt. *Arch. d. rein. u. angew. Math.* (von Carl Friedrichhendsburg, 1799.
- LEMIÈRE. — Des lorgnettes de spectacles doubles, à tirage parallèle, appelées lorgnettes jumelles, Brevet du 28, IV, 1825.
- LEONARDO DA VINCI 1651. — Trattato della pittura Rom.
- LIPPMANN. — C. R., 2 mars 1908.
- MACH E. — 1. Eine Notiz über wissenschaftliche Anwendungen der Photographie und stereoskopie. *Wien. akad. Anz.*, 1865.2.
2. Ueber wissenschaftliche Anwendung der Photographie und Stereoskopie. *Wien. Ber.*, 1866, 54, II.
3. Übersendet ein Stereoskopbild, darstellend die Durchsicht eines dreiseitigen in drei gleiche Pyramiden getheilten Prismas. *Wien. akad. Anz.*, 1867, 4.
4. Ueber wissenschaftliche Anwendungen der Photographie und Stereoskopie *Phot. Corr.*, 1877.
- MALEBRANCHE. — Mém. de l'Académie, 1755.

- MARIE T. et H. RIBAUT. — 1. Stéréoscopie de précision appliquée à la radiographie. C. R., 1897, 124.
 2. Sur la superposition de deux couples stéréoscopiques, C. R., 1898, 127.
 3. Sur un appareil de mesure simple et général pour la stéréoscopie, C. R., 1899, 128.
 4. Nouveau stéréomètre permettant la détermination d'un point quelconque d'un objet radiographié stéréoscopiquement, C. R., 1900, 130.
- MAXWELL, J. CLERCK. — On a real image stereoscope. XXXVII, Meet. Brit. Ass. at Dundee, 1867, n. 11.
- MERCER. — Stereoscopic vision with non-stereoscopic binocular arrangements. Journ. Roy. Micr. Soc., 1882 (2).
- MEYER. — Ueber einige Täuschungen in der Entfernung und Grötze der Gesichtsubjecte. Archiv von Roser und Wunderlich, 1842.
- MIES. — Die Photographie bei der Schädelmessung. Phot. Nachr., 1891-3.
- MOIGNO. — 1. Stéréoscope. Cosmos, 1852-1.
 2. Nouveaux stéréoscopes de M. Jules Duboscq. Cosmos, 1852-1.
 3. Sur le stéréoscope. Cosmos, 1853.
- MOITESSIER. — La photographie appliquée aux recherches micrographiques, J.-B. Baillière et fils, Paris, 1866.
- MOSER. — Ueber das Auge. Dore's Repert., 1844-5.
- MULLER (H.). — 1. Bemerkungen über die Zapfen am gelben Fleck des Menschen. Würzburger naturwiss. Zeitschrift, 1862.
 2. Ueber das Auge des Chamäleon — le même — 1862.
- MULLER (JOH.). — 1. Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssiinns. Leipzig, 1826.
 2. Lehrbuch der Physiologie, 1840.
- NACHET (G.-S.). — 1. Un nouveau microscope. Br. Fr. 17,716, 20, X, 1853.
 2. On a microscope adapted for anatomical demonstrations and on a binocular microscope. Quart. Journ. Micr. Soc., 1854-2.
 3. Un nouveau microscope. Br. Fr., 5, 11, 1863.
- NACHET C. ET JEANNE. — Jumelle prismatique. Br. d'inv., 109,232, 14, VIII, 1875.
- NEWTON. — Opticks, 1717.
- NORMAN. — Stereoscopic pictures. Phot. Journ., 1854, 56, 2.
- OPPEL. — 1. Ueber die Entstehung des Glanzes bei zweifarbigem, insbesondere bei schwarzen und weissen stereoskopischen Bildern. Jahr. Frank. Ver. 185 3.
 2. Nachträgliche Bemerkungen zur Stereoskopie, ins Besondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbigiger Bilder. Jahr. Frankf. Ver., 1854-55.
 3. Notizen über Stereoskopie, insbesondere über eine einfache, vergrößernde modification der Stereoskops ohne Spiegel und Gläser. Jahr. Frankf. Ver., 1855-56.
 4. Ueber das « Glitzern », eine eigenthümliche art des Glanzes und die stereoskopische Nachahmung desselben. Jahr. Frankf. Ver., 1856-1857.
 5. Ueber das Einfachsehen doppelter Bilder bei gekreuzten Augenaren, ins Besondere über eine einfache, verkleinernde modification des Stereoskops ohne Spiegel und Gläser. Jahr. Franck. Ver., 1858-59.
- OST. — Ueber stereoskopie. Kr. Zft. f. Fot. u. Ster., 1861.
- PANUM. — Physiologische Untersuchungen über das Sheen mit zwei Augen, Kiel.
- PARINAUD (H.). — La vision. Doin. Paris, 1908.
- PORTA. — De refractione, 1593.
- PORTERFIELD. — Treatise on the eye, 1759.
- PTOLÉMÉE. — Montucla, Histoire des mathématiques 1758 ; Rogeri Baconis Perspect ; Malebranche, Recherche de la vérité.
- PRANDTL. — Ein neues Instrument zum Abstecken von rechten Winkeln. Zft. f. Vermess. wes., 1890-19.

- PRÉVOST. — Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Bibl. univ. de Genève, 1843 (2) 48 (novemberheft).
- PULFRICH. — 1. Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser. *Phys. Zft.*, 1899, 1900, 1.
 2. Über neuere Anwendungen stereoskopisch und über einem hierfür bestimmten stereo komparator. *Zft. f. Instrkde*, 1902.
 3. Über die Konstruktion von Höhenkurven und Plänen auf Grund stereo-photogrammetrischer Messungen mit Hilfe des stereo-komparators. *Zft. f. Instrkde*, 1903.
 4. Über eine neue Art der Herstellung topographischer Karten und über einen hierfür bestimmten stereo-planigraphen. *Zft. f. Instrkde*, 1903-23.
 5. Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereo-Photogrammetrie für die Zwecke der Topographie. *Zft. f. Instrkde*, 1903.
 6. Über die Anwendung des Stereo-komparators für die Zwecke der topographischen Punktbestimmung. *Zft. f. Instrkde*, 1904-24.
- QUETELET. — Bull. Acad. Bruxelles, 1841, 8, II.
- QUIDOR. — 1. C. R., 29 avril 1907.
 2. C. R., juin 1909.
- QUINET. — Brevet d'invention. *La lumière*, 1853.
- READ (W. J.). — On the stereoscope. *Phot. Not.*, 1856.
- REEVE (L.). — The stereoscopic Magazin, a gallery of landscape scenery, architecture, antiquities and natural history. *The Brilh. Journ. of Phot.*, 1858.
- RECKLINGHAUSEN (V.). — *Pogg. Ann.*, CXIV (170-174). Zum Körperlichen Sehen, 1859. Netzhautfunctionen in *Archiv für Ophthalmol.*, V. 2 (127-179).
- RIDDELL (J. L.). — 1. Notice of a binocular microscope. *Sill. Journ.*, 1854 (2), 15 (Jan. Nr).
 2. Binocular microscope. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1853.
 3. On the binocular microscope. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1854.
 4. Match photographs, or camera lucida drawings of microscopic objects for the stereoscope, made by means of the ordinary monocular microscope. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1854, 2.
- ROGERS (W. B.). — 1. Observations on binocular vision. *Sill. Journ.*, 1855 (2), 20 (86.204.318); 1856 (2), 21 (80.173).
- ROHAULT. — *Traité de physique*. Paris, 1671 et 1682.
- VON ROHR. — 1. Theorie und Geschichte des photographischen objektivs. Berlin, J. Springer, 1899-80.
 2. On stereoscopic experiments in the 18^o century. *The Br. Journ. of Phot.*, 1904, 51, n^o 2301.
 3. Die Theorie des Doppelveranten, eines Instruments zur korrekten Betrachtung von Stereogrammen und Paaren identischer Bilder. *Zft. f. wiss. Phot.*, 1904 (2).
 4. Über perspektivische Darstellungen und die Hilfsmittel zu ihrem Verständnis. *Zft. f. Instrkde*, 1905, 25.
 5. Die beim beidäugigen Sehen durch optische Instrumente möglichen Formen der Raumschauung. *Münch. Ber.*, 1906, 36.
 6. Über Einrichtungen zur subjektiven Demonstration der verschiedenen Fälle der durch das beidäugige Sehen vermittelten Raumschauung. *Zft. f. Sinnesphys.*, 1907, 47.
 7. Die binokularen Instrumente. Berlin. Julius Springer, 1907.
- ROLLET. — 1. Physiologische Versuche über binokuläres Sehen, angestellt mit Hilfe planparalleler Glasplatten. *Wien. Ber.*, 1860, 42.
 2. ROLLET und O. BECKER. — Beiträge zur Lehre vom Sehen der dritten Dimension. *Wien. Ber.*, 1861, 43.2.
- ROLLMANN (W.). — 1. Notiz zur Stereoskopie. *Pogg. Ann.*, 1853, 89.
 2. Zwei neue stereoskopische methoden. *Pogg. Ann.*, 1853, 90.
 3. Réclamation de priorité pour une certaine disposition d'appareils stéréoscopiques. C. R., 1858, 47.

- ROOD O. N. — 1. On a method of producing stereographs. by hand. *Sill. Journ.*, 1861 (2), 31.
 2. On the practical application of photography to the microscope. *Sill. Journ.*, 1861 (2), 32.
- ROUYER. — Coup d'œil rétrospectif sur la lunetterie précédé de recherches sur l'origine du verre lenticulaire et sur les instruments servant à la vision. Paris, 58, r. Charlot, 1901.
- J. SANG. — Stereoscopic pictures from plat pictures. *Phot. Journ.*, 1858-59.
- SCHAEFFER. — *Zeitschrift f. w. Mikroskopie*, 1897.
- SCHMALENBERGER. — Den Hohlspiegel als Stereoskop zu gebrauchen.
- SCHULTZE (F. E.). — Ueber eine von ihm angegebene binoculare Präparirlupe. *Zft. f. Mikrosk.*, 1888.5.
- SCHULTZE M. — Sitzungsber. der niederrheinischen Ges. *Archiv für Anatomie und Physiol.*, 1861.
- SCOTT E. E. — Improvements in stereoscopes. E. P., 2581⁵⁰ vom 3, XI, 1856.
- SERVUS. — Die Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit. Berlin, J. Springer, 1886, VII, 135 S. 8°.
- SHADBOLT. — 1. Discussion on the stereoscope. *Phot. Journ.*, 1856-57.
 2. The crystal miniature explained. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1864.
 3. A note relative to the Chimenti drawings. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1864.
- SMITH. — Optik deutsche Ausg. — A compleat system of opticks in four books. Cambridge, im Selbstverlage u. bei C. Crownfield, 1738-4°.
- SMYTH G. PIAZZI. — 1. Stereoscopic reform. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1864 11.
 2. Stereoscopic and photographic confession. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1873.
- STEINHAUSER. — 1. Ueber die geometrische construction der Stereoscopbilder. *Graz. Jos. Pock.*, 1870.
 2. Stereoskopische Wandtafeln. *Carl's Rep.*, 1876 (12).
 3. Die mathematischen Beziehungen zwischen dem stereoskope und den zu demselben gehörigen Bildern. *Carl's Rep.*, 1877 (13).
 4. Suggestions with regard to the stereoscope. *Nature*, 1879-80 (21).
- STEPHENSON (J. W.). — 1. On an erecting binocular microscope. *The Monthly Micr. Journ.*, 1870 (4).
 2. Stephenson's erecting binocular. *The Monthly Micr. Journ.*, 1872 (7).
 3. On bichromatic vision. *The Monthly Micr. Journ.*, 1872 (7).
- STOLZE. — 1. Die photographische Ortsbestimmung ohne Chronometer und die Verbindung der dadurch bestimmter Punkte unter einander. Berlin, Mayer et Muller, 1893.
 2. Die Stereoscop in Theorie und Praxis. *Encyck. d. Phot.*, Heft 10.
- SUTTON. — 1. The theory of the stereoscope. *Phot. Not.*, 1856 (1).
 2. A new form of stereoscop. *Phot. Not.*, 1857 (2).
 3. The lenticular stereoscope. *Phot. Not.*, 1860 (5).
 4. Leader. *Phot. Not.*, 1860 (5).
 5. Ross's new stereographic camera and lenses. *Phot. Not.*, 1861 (6).
 6. On E. Emerson's improvements in the lenticular stereoscope. *Phot. Not.*, 1862 (7).
- SWAN. — 1. Improvements in stereoscope and stereoscopic pictures. E. P., 2020⁵⁹ vom 3, IX, 59.
 2. Improvements in stereoscopes, and cameras. E. P., 539⁶⁰ vom 29, II, 60.
 3. Improvements in stereoscopic apparatus. E. P., 3249⁶² vom 4, XII.
 4. On a new Kind of miniature possessing apparent solidity by means of combination of prisms in contact therewith. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1863 (8).
 5. The casket miniature in relief. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1865 (13).
 6. The crystal cube. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1872 (19).
- TACQUET. — Opera mathematica, 1669.
- TAYLOR, J. TRAILL. — 1. Stereoscopic improvements. *The Brit. Journ. of Phot.*, 1873, 20.
 2. Stereoscopic photography. *Brit. Journ. Phot. Alm.*, 1887.

- TOLLES (R. B.). — Method of applying the binocular principle to the eye-piece of a microscope or telescope. *Sil. Journ.*, 1865 (March) (39).
- TOURNAI. — Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoskopischen Bilde; Munster, Coppenrath, 1842.
- TSCHERNING. — Leçons d'optique physiologique. Paris, Masson.
- TYNDALL. — 1. On binocular vision and the stereoscope, *Phot. Journ.*, 1856-57 (3).
2. Corrections, *Phot. Journ.*, 1856-57 (3).
- VALENTA. — Mitteilungen aus Wien, *Phot. Mitt.*, 1895-96.
- VIOLLE. — C. R., 29 octobre 1904.
- VOIGTLANDER. — Galiläische Perspective neuer Art mit achromatischen Ocularen und Objectiven zum Gebrauche in Theater und im Freien. *Pogg. Ann.*, 1844 (62).
- VITELLIO. — *Optica Edit.* Risneri Basil, 1572, p. 412.
- VARIGNON. — Mém. de l'Académie, 1717.
- WELCKER (H.). — Untersuchung der Retinazapfen bei einem Hingerichteten. *Zeitschr. für ration. Medicin.*, XIX, 1863.
- WENHAM (F. H.). — 1. On the application of binocular vision to the microscope. *Trans. Micr. Soc.*, London, 1853.
2. Binocular microscope. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1854.
3. Some remarks on obtaining photographs of microscopic objects and on the coincidence of the chemical and visual foci of the object glasses. *Trans. Lond. Micr. Soc.*, 1855.
4. Binocular and stereoscopic vision. *The Br. Journ. of Phot.*, 1858.
5. On an improved binocular microscope. *Trans. Micr. Soc.*, London, 1860.
6. On a new combined binocular and single microscope. *Trans. Lond. Micr. Soc.*, 1861.
7. Remarks on the binocular microscope. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1861.
8. Micro-stereographs. *Quart. Journ. Micr. Soc.*, 1863.
- Stereoscopic photographs of diatoms, *id.*, 1864.
9. On a binocular microscope for high powers. *Trans. Lond. Micr. Soc.*, 1866.
10. a) Binoculars for the highest powers. *The Monthly Micr. Journ.*, 1873.
b) Refracting prism for binocular microscope, *id.*, 1874.
11. The binocular with high powers. *Journ. Roy. Micr. Soc.*, 1878.
- WHEATSTONE. — 1. Contributions to the physiology of vision. *Phil. Trans.*, 1838, p. 371-394.
2. On a singular effect of the juxtaposition of certain colours under particular circumstances. XIV, *Meet. Br. Ass. at York*, 1844.
3. The Bakerian lecture. Contributions to the physiology of vision.
4. On the binocular microscope and on stereoscopic pictures of microscopic objects. *Trans. Micr. Soc.*, 1852.
5. Note on a new portable reflecting stereoscope, *Phot. Journ.*, 1853-54.
6. (et BREWSTER). The original invention of the stereoscope.
- WOLLASTON. — *Phil. Trans.*, 1824.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS.	vii
INTRODUCTION	1
NOTIONS PRÉLIMINAIRES	3

PREMIÈRE PARTIE

Objet de la première partie	5
I. — Stéréoscopie proprement dite	5
A. — MÉTHODE DES IMAGES CONJUGUÉES	5
a) <i>Exposé théorique de la méthode</i>	5
I. — Règles de la projection stéréoscopique	5
II. — De la parallaxe stéréoscopique.	8
1. Rapports entre la parallaxe stéréoscopique d'un point et l'angle de convergence de ce point	8
2. Evaluation de la distance d'un point par la détermination exacte de sa parallaxe linéaire au moyen du stéréo-comparateur.	9
b) <i>Procédé des images conjuguées juxtaposées.</i>	10
I. — Formation des images conjuguées	10
1. Images obtenues par le dessin	10
2. Images obtenues par la photographie	10
α. Principe.	11
β. Microstéréographie.	12
γ. Stéréographie	13
1. Appareils à un objectif	13
Méthode de Barnard.	14
Méthode de Brown	15
Essais de stéréographie au moyen des rayons Rontgen	15
2. Appareils à deux objectifs	15
II. — Observation pratique des images conjuguées	16
1. Observation directe des images conjuguées.	16
2. Observation des images conjuguées au moyen du stéréoscope.	16

α . Stéréoscope dépourvu de système optique	16
β . Stéréoscope à miroir	17
γ . Stéréoscope à prismes	17
δ . Stéréoscope à lentilles	17
III. — Conditions d'examen des images conjuguées	18
1. Déplacement des images conjuguées dans leur plan. . .	18
2. Variation de la distance qui sépare l'observateur du plan de l'image.	19
3. Variation de la distance qui sépare les deux images conjuguées d'un même point	19
4. Conclusion.	20
IV. — Relief donné par des images uniques	20
1. Procédé de M. le Professeur Chauveau.	21
2. Procédé de Brewster et de Dove	21
c) <i>Procédé des images conjuguées et superposées</i>	22
1. Procédé de Rollmann et d'Almeida	22
2. Procédé des réseaux	23
α . Formation de l'image stéréoscopique.	23
β . Observation de l'image.	24
γ . Projection stéréoscopique.	25
δ . Ecran stéréographique	25
B. — MÉTHODE DES PHOTOGRAPHIES INTÉGRALES.	25
II. — Instruments d'optique destinés à l'observation binoculaire et directe des objets ou de l'espace	27
A. — MICROSCOPES BINOCULAIRES	27
a) Microscopes binoculaires à un seul objectif	27
b) Microscopes binoculaires à deux objectifs.	29
B. — JUMELLES	30
C. — TÉLÉSTÉRÉOSCOPES ET JUMELLES TÉLÉSTÉRÉOSCOPIQUES. — TÉLÉ- MÈTRES.	32
1. Appareil d'Helmholtz.	32
2. Iconoscope. Ophtalmoscope binoculaire	34
3. Jumelles téléstéréoscopiques	34
4. Jumelles télémètres	35
III. — Physiologie des phénomènes visuels	36
A. — PHÉNOMÈNES VISUELS.	36
a) Phénomènes d'accommodation.	36
b) Phénomènes de convergence.	36
B. — PERCEPTION DU RELIEF ET DE LA DISTANCE DES OBJETS	37
C. — DE L'UNITÉ DE SENSATION DANS LA VISION BINOCULAIRE.	38

DEUXIÈME PARTIE

I. — Expériences de microstéréographie	45
II. — Etude de l'inclinaison du système optique	49
A. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE EN PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE	49
a) Appareil à un objectif : Méthode des rotations	49
b) Du relief donné par les microscopes binoculaires à un seul objectif	55
c) Appareils à deux objectifs	58
1. Méthode convergente	58
2. Méthode parallèle	60
3. Méthode divergente	60
4. Principe d'une méthode stéréoscopique rationnelle	60
5. Etude comparée des méthodes convergente, parallèle et divergente	61
6. Conclusions	64
B. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE DANS LES JUMELLES	65
C. — DE L'INCLINAISON DU SYSTÈME OPTIQUE DANS L'APPAREIL VISUEL	69
D. — CONCLUSION	71

TROISIÈME PARTIE

Objet de la troisième partie	73
I. — Des phénomènes d'accommodation et de convergence	73
II. — De la sensation du relief	74
A. — EXAMEN D'IMAGES UNIQUES	74
B. — EXAMEN D'IMAGES CONJUGUÉES	75
a) Du relief absolu et du relief relatif	75
b) De l'influence de la distance d'un objet sur son relief relatif	77
c) De la détermination apparente ou réelle des objets	81
1. Rôle de la parallaxe	81
2. Rôle du diamètre apparent	82
d) Du relief donné par les méthodes stéréoscopiques	83
I. — Du relief relatif dans l'observation des objets	84
1. Téléstéréoscope	84
2. Jumelle	85
3. Jumelle téléstéréoscopique	86
II. — Du relief relatif dans l'examen des images conjuguées	86
1. Modification de la parallaxe	86
α. Modification de la parallaxe angulaire	86

β . Modification de la parallaxe linéaire	87
1. Les images conjuguées sont juxtaposées.	87
2. Les images conjuguées sont superposées.	89
2. Modifications de la distance des stéréographies obser- vées.	91
III. — Du rapport de l'inclinaison du microscope Quidor- Nachet avec le relief relatif des objets photogra- phiés	94
Conclusion.	95
III. — De l'unité de sensation dans la vision binoculaire . . .	97
A. — CRITIQUE DE LA THÉORIE DES PROJECTIONS.	97
B. — EXPÉRIENCES INVOQUÉES EN FAVEUR DE LA THÉORIE DU D ^r JAVAL. .	98
C. — LOIS DE LA FUSION DES IMAGES RÉTINIENNES	100
a) Première loi	100
b) Deuxième loi.	100
I. — Première expérience	101
II. — Seconde expérience.	102
III. — Expérience de Helmholtz	105
IV. — Réfutation de l'objection de Helmholtz à toute théorie de l'identité	106
c) Troisième loi	107
d) Quatrième loi.	109
e) De l'interprétation des expériences décrites.	114
D. — CONCLUSION.	114
IV. — Résumé général	115
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.	119

Imp. J. Thevenot, Saint-Dizier (Haute-Marne).
